



TITLE:

M型巨星の掃天観測と銀河系の構造(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

市川, 隆

CITATION:

市川, 隆. M型巨星の掃天観測と銀河系の構造. 京都大学, 1982, 理学博士

ISSUE DATE:

1982-05-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k2754>

RIGHT:

M型巨星の掃天観測と銀河系の構造

市川 隆

論文内容の要旨

報告番号	甲第 号	氏 名	市 川 隆
論文調査担当者	主査 小 暮 智 一 川 口 市 郎 加 藤 正 二		
<p>(論 文 題 目)</p> <p style="margin-left: 40px;">M型巨星の掃天観測と銀河系の構造</p>			
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>近年、銀河系の大局的構造に関する研究は電波、赤外線、X線などの観測によって急速に進展している。しかし、恒星の分布に関してはそれが銀河系の主要な構成要素であるにかかわらず、観測的研究は太陽の比較的近傍の領域に限られてきた。これは可視光に対する空間吸収が大きく、遠距離の星の観測を困難にするからである。</p> <p>申請者は恒星のうち赤色巨星に着目し、近赤外観測によってその空間分布の研究から銀河系構造の解析を試みた。赤色巨星に注目した理由は、第1にそれが近赤外領域で著しく高い光度を示すこと、第2に近赤外光に対して空間吸収が小さく遠方まで見透しうること、第3に低分散スペクトルによっても比較的精度よく分光分類が可能であること、などである。これらの特性により赤色（M型）巨星は銀河系構造の研究に適している。</p> <p>申請者は宇宙物理学教室附属大宇陀観測所およびインドネシアのボスカ</p>			

天文台のシュミット望遠鏡を用いて対物プリズムによる分光観測、および R , I バンドによる写真測光観測を実施した。分光観測については近赤外領域 (6800–8800Å) にあられる分子線の強度から分光分類のシステムを確立し、写真測光については標準星団を利用して R , I バンドの測光システムを導いた。この分光及び測光システムを基本的手段として申請者は次にのべる三課題について銀河系構造の解析を行い、それぞれについて注目すべき成果を収めたのである。

第 1 はカシオペア座方向における M 型巨星の空間分布である。この方向にはペルセウム腕およびアルファ腕とよばれる銀河腕が存在するが、申請者は M 型巨星の空間密度の解析から M 型巨星には銀河腕に集中する年令の若いグループと、銀河腕に関係しない低質量の年令の古いグループとが混存していることを見出した。これは恒星進化と銀河構造の関係について重要な情報を与えるものである。

第 2 に申請者は上述の領域の年令の古い M 型巨星の空間分布を用いて、この方向における銀河円盤部の彎曲の有無について検定を行った。その結果、中性水素による円盤部がカシオペア方向で著しい彎局を示すのとは対照的に、古い星の円盤は彎曲を示さないという注目すべき結果を導いている。これは中性水素円盤の彎曲の原因について観測的に重要な制約を加えたものとして注目される。

第 3 に、申請者はボスカ天文台で行われた日本とインドネシアの共同掃天観測に参加し、銀河中心領域の M 型巨星の空間分布から空間吸収の少ない、いわゆる銀河の窓を数個発見すると共に、空間吸収の詳しい分布図の作成を分担して実行したのである。この分布図は銀河中心方向の構造の研究に当って基礎的資料を提供するものである。

M型巨星の掃天観測と銀河系の構造

1982年 3 月 1 日

市 川 隆

本論文は : The Space Distribution of Mgiants in the Direction
of Cassiopeia (Publ. Astron. Soc. Japan, 1981, 33, 107-103 に掲載)
と, 共著論文 : On Warping of the Old Stellar Disk in Our Galaxy
(IAU Second Asian-Pacific Meeting in Astronomy に掲載予定。
Toshiyuki Sasaki と共著), The Interstellar Extinction toward the
Galactic Central Region (Publ. Astron. Soc. Japan 1982, No. 2
に掲載予定, Kiyotoshi Hamajima, Keiichi Ishida, Bambang Hidayat,
そして Moedji Raharto と共著) で著者が担当した観測, 解析の部分とい
くらか詳しくまとめたものである。

目次

	頁
第1章 序(要旨)	1
第2章 M型星の性質とその掃天観測	3
2-1 銀河面近くに観測されるM型星の光度階級	3
2-2 M型巨星の質量と年齢	3
2-3 M型巨星の絶対等級とその分散	4
2-4 スペクトル分類	6
2-5 写真測光	8
第3章 カシオペア領域でのM型巨星の空間分布	12
3-1 研究の動機と目的	12
3-2 観測	13
3-3 晩期型星の検出と分類	14
3-4 写真測光	15
3-5 観測結果	16
3-6 星間吸収	22
3-7 空間分布解析	24
3-7-1 太陽からの距離についての空間分布	24
3-7-2 Σ -分布	28
3-8 議論	30
第4章 銀河系の古い円盤の屈曲	36
4-1 研究の動機と目的	36
4-2 観測	37
4-3 晩期M型巨星の表面分布	39
4-4 観測の限界距離	41

(iii)

頁

4-5	銀河系の質量モデルとの比較	44
4-6	議論	46
4-7	結論	47
第5章	銀河系中心方向の星間吸収表面分布	50
5-1	研究の動機と目的	50
5-2	観測	50
5-3	晩期M型星の検出とその限界等級	51
5-4	星間吸収	54
5-5	議論	55
謝辞		60
参考文献		61

第1章 序(要旨)

低銀緯帯で見つけられるM型星の表面密度は一般的に高く、その大部分は巨星である。またM型巨星は、星間吸収星が可視波長域の半分以上の近赤外域で、そのエネルギーの大部分を輻射している。近赤外波長域にある酸化チタンや酸化バナジウムの吸収帯を用いると、対物プリズムによる低分散スペクトル掃天観測が可能であり、太陽よりかなり遠方にあるM型巨星を容易に検出、分類できる。M型巨星のこのような特徴を利用して、以下のような研究を行なった。

京都大学宇宙物理学教室大宇陀観測所の40/70/120 cm シュミット望遠鏡を用いて、 $l = 120.8^\circ$, $b = -1.8^\circ$ に中心を持つ38.5 平方度のカニオペア領域で、722のM型星を検出、分類して空間分布を求めた。いくつかのM型サブクラスに属する星は、ペルセウス腕、 α -腕のある太陽より2 kpcと4 kpc付近に集中傾向を示す。また密集する傾向のあるM型巨星のグループもあり、ほと組は銀河面に強く集中している。このようなM型巨星の空間分布と同方向のOB型星の空間分布ならびに質量分布モデルとの比較から光度階級ⅢのM型星はふた組の星の種族から成っていることが示唆される。すなわち、今まで一般的に受け入れられてきた小質量(平均1.3 M_\odot)の若い円盤種族の他に、渦状腕に集中している大質量(平均7 M_\odot)の若い極端な種族ⅠのM型巨星があると思われる。これらふた組の種族の星の空間密度は、渦状腕中で、ほぼ同程度である。

観測領域をさらに銀緯正負の両方向に拡張し、 $l = 116^\circ$ 付近、 $b = -11^\circ$ から $+10^\circ$ の間、130 平方度の領域で約1500の晩期M型星を検出した。この方向は、HIガス円盤が最も屈曲して見える方向である。銀緯の関数として得られたこれらの星の表面密度分布は銀河面に関して対称である。銀河

系の質量分布モデルとの比較から、カシオペア座の方向、銀河中心より約 22 kpc まで、数十億年の年齢を持つ晩期 M 型星によって代表される古い星の種族の円盤に屈曲の徴候が見られないことが明らかにされた。この現象は、銀河系の外側領域で HI ガスの現象とは異なることを示し、大マゼラン雲の潮汐力に因ると言われていた HI ガスの屈曲現象は、星に影響を与えない、気体にのみ作用する機構によることを示唆している。

Bosscha 天文台の 51/71/127 cm シュミット望遠鏡を用いて $351^\circ \leq l \leq 10^\circ$, $|b| \leq 2^\circ$ の領域で、太陽より 5 kpc 以内の星間吸収について調べた。その領域内で、約 2700 の晩期 M 型星を抜き出し、その表面密度と空間分布モデルより予想される表面密度から、観測の有効限界距離と、その距離までの総星間吸収量を求めた。その結果は 0.5×0.5 の領域毎に与えられている。全観測領域 $351^\circ \leq l \leq 10^\circ$ 内の 1 kpc 当たり平均実視星間吸収量 \bar{A}_v と平均限界距離 \bar{r}_{lim} は、 $1^\circ \leq |b| \leq 2^\circ$ の領域で、 $(\bar{A}_v, \bar{r}_{lim}) = (1.8 \text{ 等 kpc}^{-1}, 4.0 \text{ kpc})$, $|b| \leq 1^\circ$ で $(2.1 \text{ 等 kpc}^{-1}, 3.6 \text{ kpc})$ である。このような太陽より銀河中心を向かなり奥深くまでのこれまでにない詳細な星間吸収分布図上で、銀河系の内部領域を研究するのに有用な、小さな星間吸収を持つ、いくつかの銀河の窓が見つかった。

以上の研究から、M 型巨星が、銀河系の内部、外部両領域の構造を研究する上で、非常に有用な星であることがわかった。

第2章 M型星の性質と掃天観測

2-1 銀河面近くに観測されるM型星の光度階級

この論文全体を通して用いられている非常に低分散のスเปクトルでは、光度階級を決めるのは不可能である。しかしM型主系列星の見つかる数は全体のM型星の数に比べて銀河面では無視できる (Blanco 1963)。ここの掃天観測の限界等級では、Allen (1973) の与えているM型主系列の絶対等級と空間密度を基に計算すると、見つかることの期待されるM4型より早期のM型主系列星の数は1平方度当たりわずかに約0.5星である。これは実際に観測されるM型星の2~3%であり、晩期M型星についてはもっと小さい割合である。太陽近傍においてはM型超巨星や明るいM型巨星の寄与も無視できる (Ishida and Mikami 1981)。従って銀河面付近での低分散スเปクトルを用いた掃天観測で見つかるM型星のほとんどは巨星であると思われる。渦状腕内でのM型超巨星と明るいM型巨星の寄与については第3章で論ずる。

2-2. M型巨星の質量と年齢

Scalo et al (1978) は、赤色巨星と主系列星を含む実視連星の統計的解析を基に赤色巨星の初期質量の頻度分布を決めた。彼らの結果によるとその質量は $0.8 M_{\odot}$ と $1.2 M_{\odot}$ の範囲に分布しており、 $1.4 M_{\odot}$ がその平均質量の確かな上限である。Neckel (1975) はHR図上の巨星枝にある星の分布を半理論的に見積り、太陽近傍の巨星の質量スเปクトルを求めた。その予想される質量スเปクトルは太陽質量よりわずかに大きな質量に非常に極端な最大値のあることを示している。K0より晩期の巨星の見かけ上の平均光度は、 $1.25 M_{\odot}$ を持つ星の進化の道すじによく一致している。

HR図上では、 $B-V > 1.0$ 等の色指数を持つ巨星は、形、位置共、M67やNGC 188のよつな古い散開星団の漸近枝に似たバンドに沿って分布している。 $B-V > 1.6$ 等のM2とそれより晩期のM型巨星も同じバンド上に位置している。従って、M型巨星は数十億年の年齢を持つ古い円盤種族に属するものと思われる。

2-3 M型巨星の絶対等級とその分散

Blanco (1965) は、Wilson and Bappu (1957) と Wilson (1959) によって得られたデータを基礎として、M型巨星の実視絶対等級 M_V について要約している。Wilson (1976) は再び Wilson-Bappu 効果を用いて巨星の絶対等級の新しい値を得た。そのデータは $m_V = 5.0$ 等まで、また赤緯 -25° までにあるほとんど全部の巨星を含んでいる。変光を示さない各サブクラス毎のM型巨星の平均絶対等級を彼のデータを用いて求めた。Mikami (1978) は動径速度と固有運動の統計的解析により、太陽近傍にある1490 M型巨星の実視絶対等級を調べた。以上の結果は表2-1に示されている。尚、表2-1の第1列は Mt. Wilson システムによるスペクトル型である(Adams et al. 1926)。Mikami (1978) と Wilson (1976) の M_V と

表 2-1. M型巨星の実視絶対等級

スペクトル型	M_V		
	Blanco (1965)	Wilson (1976)	Mikami (1978)
M0.....	-0.3	-0.3	-0.4
M1.....	-0.5	-0.6	-1.1
M2.....	-0.8	-0.9	-1.5
M3.....	-1.1	-0.7	-1.6
M4.....	-1.0	-0.7	-0.7
M5.....	-0.9:	-1.0	-0.9
M6.....	-0.9:		+0.1
M7.....	-0.9:		+0.5:
M8.....			+0.5:
M9.....			

Blanco (1964) による固有色彩指数 ($V-I$) を用いて, Case システム (2-4章) に基づいて分類された M 型巨星の近赤外線絶対等級を得た。それらの絶対等級 M_I (Kron のシステム … 後述) は表 2-3 の第 4 列, 5 列に与えられている。

Neckel (1975) は晩期型巨星の絶対等級の固有な分散を計算した。彼は, 巨星域における絶対等級の散らばりは質量の違いに因るものであり, 分散は, K 型主系列星の絶対等級の固有な分散である ± 0.15 等より小さいはずであることを示した。

Neckel (1958) は, $l = 1^\circ$ から 231° , $b = -6^\circ$ から $+6^\circ$ の銀河面に沿って, Case システムに基づいて分類した M2 ならびにそれより晩期のスペクトル型を持つ全 BD 星のカatalog を発表した。それに加えて, 極大での実視の明るさが 10.5 等より明るくしかも BD カタログにはない 66 の M 型変光星を載せている。表 2-2 は, 彼のカatalog にある $m_V = 10.5$ 等より明るい 1356 の M 型星とその変光の様子に基づいて 4 つのグループに分けたものである。N は不変光星の数であり, 疑わしいものも含む。Δm は General Catalogue of Variable Stars (Kukarkin et al. 1969, 1970)

表 2-2. Neckel (1958) のデータによる各サブクラス毎の M 型不変光星と変光星の数。

スペクトル型	N	$0 < \Delta m \leq 2$	$1 < \Delta m \leq 2$	$2 < \Delta m$
M2.....	618	7	9	2
M3.....	303	7	16	3
M4.....	148	2	8	7
M5.....	99	5	14	9
M6.....	21	4	7	4
M6.5.....	10	2	6	10
M7.....	3			12
M8.....				12
M9.....				7
M10.....				1

のデータによる変光の振幅である。第3, 4, 5列はそれぞれ変光の振幅 $0 \leq \Delta m \leq 1$, $1 < \Delta m \leq 2$, > 2 を持つ変光星の数である。表2-2は, M2-M4型星の大部分は不変光星であり, 晩期型の星程, 変光星の割合が大きくなることを示している。M7-M10型星のほとんどが, 大きな振幅 ($2 < \Delta m$) を持つ変光星であり, その大部分はミウ型星である。 $\Delta m \leq 2$ の振幅を持つ変光星は主に半規則か不規則変光星である。

Terrill (1919) は, M型変光星の変光とスペクトル変化の関係を調べるために, 10年以上の期間にわたる32のミウ型星, 半規則型, 不規則型変光星の Case システムに基づく対物アリズムスペクトルを解析した。ミウ型変光星のスペクトル変化振幅は, 変光の大きなものはスペクトル変化も大きいというように, 変光の振幅とよい相関を示す。変光の振幅が2.5等より小さい星のスペクトル変化は1リブウラス以下である。半規則, 不規則型変光星のスペクトル変化はそれより小さい。それ故, M6.5より早期のM型星の変光は, スペクトル分類の誤差(2-4章)以上に, 絶対等級の分散には影響を与えないであろう。ただし, M型変光星の Case システムに基づくスペクトル分類と絶対等級の関係が, 変光のどの位相でも同じように成り立つかはわからない。従って, M6.5より晩期のM型巨星の絶対等級の分散は単にスペクトル分類の誤差に因るものよりも大きい可能性は残る。

2-4. スペクトル分類

スペクトル分類は, 波長 6800 \AA から 8800 \AA の間にある TiO と VO の分子吸収帯を基準とする Case システムを用いた (Cameron and Nassau 1955; Nassau and Velghe 1964; Mavridis 1967)。Case システムは大気 A バンドでの分散が 1700 \AA mm^{-1} の対物アリズムスペクトルを用いており, それより低分散のスペクトルを用いた場合, 他のシステム

との相関を調べておく必要がある。今回用いられたスペクトルの分散は、大宇陀観測所の 40/70/120 cm ミュニット望遠鏡と 5° 対物プリズムの組み合わせの 2820 Å mm^{-1} と、ボスカ天文台の 51/71/127 cm ミュニット望遠鏡と 6° 対物プリズムの組み合わせの 1870 Å mm^{-1} である。2-2章で述べたように、Mt. Wilson システムに基づくスペクトル型と絶対等級の関係が求められているので、我々の分類したスペクトル型を Mt. Wilson システムに変換するのが都合が良い。そこで General Catalogue of Stellar Radial Velocities (GCSRV) (Wilson 1953) から 73 の不変光 M 型星を選んで、大宇陀観測所のミュニット望遠鏡を用い、波長 6800 Å から 8800 Å の間でそれぞれの星のいくつかの露出時間でスペクトル写真を得た。これらの星を Case システムを基にスペクトル分類した。得られた関係は図 2-1 と表 2-3 に示されている。表 2-3 の第 1 列は今回の分類で、第

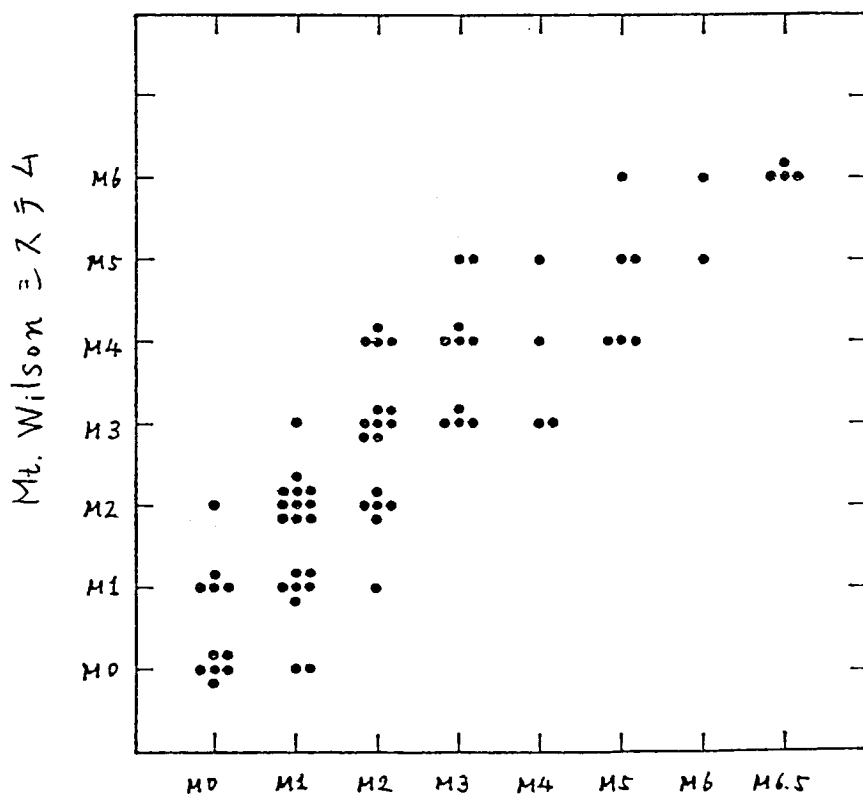


図 2-1。 Case システムに基づく今回の分類と Mt. Wilson システムとの関係

今回の分類

2列は Mt. Wilson システムでの平均のスペクトル型である。変換の標準偏差は第3列に与えられている。この変換の関係は非常に異なる分散を用いたにもかかわらず, Blanco (1964) によって得られた関係と少ししか違わない。尚, ポスカ天文台で得られたスペクトル写真の分散は Blanco (1964) のもの (1700 Å mm^{-1}) とあまり変わらないので, その写真でも表 2-3 と同じ関係が成り立つと見た。GCSRV とは M7 より晩期の不変光量はほとんどないので, M7-M9 型星を Mt. Wilson システムに変換できなかった。

表 2-3 スペクトル分類システムの関係と近赤外域絶対等級。

スペクトル型		M_I	
今回	Mount Wilson	Mikami (1978)	Wilson (1976)
M1	M1.5.....0.8	-2.9	-2.3
M2	M2.8.....0.9	-3.7	-2.8
M3	M3.8.....0.8	-3.4	-3.2
M4	M3.8.....1.0	-3.4	-3.2
M5	M4.7.....0.8	-3.7	-3.8
M6	M5.5.....0.7	-3.6	
M6.5	M6.0.....0.0	-3.4	
M7	-3.5	
M8	-4.2	
M9	-4.9	

今回用いたような低分散スペクトルでは M0 と M1 型星の分類は非常に不正確であると, Blanco (1965) や他の人々に言われていたが, 図 2-1 は M1 型星の分類は Mt. Wilson システムとよい相関を示している。

2-5 写真測光

R, I 等級写真測光のための光電比較星が観測領域内に利用できるか。たので, Kron システムでの比較星の R, I 等級は, 散開星団の光電あるいは写真測光による UB₀V 等級から間接的に導かれた。星間吸収を受けてない星の $(B-V)_0$ と $(V-I)_0$, $(B-V)_0$ と $(V-R)_0$ の関係は, Kron の

I システム (Kron and Smith 1951 ; Kron et al 1953) と Johnson の UBV システム (Johnson and Harris 1954 ; Johnson 1955) の両方のシステムで観測された星の等級から得られる。

$-0^m.26 \leq (B-V)_0 \leq 1^m.26$ の星に対して,

$$(V-I)_0 = 1.00 (B-V)_0 - 0^m.20, \quad (2-1)$$

$-0^m.04 \leq (B-V)_0 \leq 1^m.20$ の星に対して,

$$(V-R)_0 = 0.57 (B-V)_0 - 0^m.12 \quad (2-2)$$

が成り立つ。この関係は、ヒアデス散開星団のメンバーの星の R , I 等級 (Eggen 1969, 1977) と B , V 等級 (Johnson 1955) の間にも成り立つことを確めた。 $(B-V)_0$ の誤差を無視すると, $(V-I)_0$ と $(V-R)_0$ は、それぞれ 0.04 等, 0.03 等の標準偏差で得られる。

$(B-V)_0$, $(V-I)_0$, $(V-R)_0$ の星間吸収の影響のため, Van de Hulst (1949 ; Johnson (1968) に引用されている) の吸収曲線 15 番を用いて, 上式を改良した。

$$E_{V-I} = 1.50 E_{B-V},$$

$$E_{V-R} = 0.80 E_{B-V}.$$

よって,

$$I = V - 1.00 (B-V) - 0.5 E_{B-V} + 0^m.20 \quad (2-3)$$

$$R = V - 0.57 (B-V) - 0.23 E_{B-V} + 0.12 \quad (2-4)$$

そして, 散開星団のメンバーの V と $B-V$, 散開星団の色超過 E_{B-V} の見積りから そのメンバーの I , R 等級が得られる。

今回用いられた V , I , R 写真測光システムの他のシステムに対する色

効果は以下のようにして調べられた。コダック 103aD又はIIaD乾板とフィルター Hoya Y50の組み合わせによる大宇陀観測所のVシステムのJohnsonシステムへの変換は散開星団 NGC 103 (Hardorp 1960), NGC 129 (Hoag et al. 1961), NGC 225 (Arp et al. 1959)のメンバーのV等級を用いて調べられた。用いた変換式は以下の通りである。

$$V_J = V_{\text{ouda}} + 0.18 (V - I)_{\text{ouda}} + 0.14$$

ここで添字, Ouda, Jはそれぞれ大宇陀観測所 Johnsonのシステムを意味する

大宇陀観測所で用いたRシステム(コダック 103aF乾板とフィルター Hoya R66の組み合わせ)とIシステム(コダック IN乾板とフィルター R68の組み合わせ)のKronシステムに対する色効果は, Eggen (1969, 1977)によって求められた, ヒアデス散開星団のR, I光電測光星を用いて調べられた。Iシステムに関しては, M4型星の固有色指数に相当する $R - I = 1.2$ 等(Kronシステム)より青い色指数の星について色効果は見られなかった。Bosscha 天文台で用いられた写真Iシステム(コダック IN乾板とフィルター Schott RG8の組み合わせ)に関しては, それに非常に近い写真システムが Blanco (1964)によって考察され, KronのIシステムに対して色効果のないことが報告されている。そこで今回用いた2つの写真IシステムはM型星に対してはKronのIシステムと同じであるとみなした。従って, I_{Bosscha} を Bosscha 天文台のIシステムとして,

$$I_K = I_{\text{ouda}}$$

$$I_K = I_{\text{Bosscha}}$$

である。2-3章で得られた絶対等級 M_I は Mikami (1978) と Wilson (1976) の M_V (Johnson V システム) と Blanco (1964) による固有色彩指数 $(V-I)_0$ から得られた。Blanco (1964) はその $(V-I)_0$ を字真 I システムを用いて求めており、彼は、その字真システムと Kron の I システムに対し、M 型星にも色効果はないものを見なしている。我々の用いた字真 I システムは Blanco (1964) のものとほとんど同じであるので、たとえ M 型星に対して色効果があったとしても、以下の議論で用いる距離指数 $m_I - M_I$ ではその効果が打ち消し合うので問題はない。

一方、我々の R システムは Kron のシステムに対して大きな色効果が認められた。しかし、 $R-I = 1.2$ より赤い M 型星に対しては、そのような星が少ないことと、変光星が大部分であるために色効果の量を調べることはできなかった。その大きな色効果は、我々の R システムの有効波長幅が非常に狭いことと (340 \AA)、その有効波長 $\lambda = 6700 \text{ \AA}$ 付近で、M 型星が TiO の強い分子吸収帯を持つことに帰結される。従って我々の R システムの Kron システムへの変換は行なわなかった。

第3章 カシオペア領域でのM型巨星の空間分布

3-1 研究の動機と目的

Mavridis (1971) が要約しているように、近赤外波長域での対物プリズムスペクトルを用いた掃天観測により、主に銀河面近くいくつかの方向でM型巨星の空間分布が調べられてきた。彼によると、その最も重要な結論は、a) M2-M4型巨星は渦状腕に集中傾向を示す薄い円盤を形成しているように見える、b) M5-M6.5型巨星は渦状腕の内外で均質に分布しており、銀河中心方向にその空間密度が多少増加している、c) M7-M10型巨星は、M5-M6.5型巨星より薄い円盤の中で均質に分布していて、銀河中心方向への集中はそれ程見られない、ということである。

Vleeming and Thé (1975) は南天でのいくつかの方向における太陽より約7kpcまでのM型巨星の空間分布について比較・議論している。それによると、船尾座方向でのM2-M4型巨星の空間密度は、太陽より0.8kpcの所で 10^6 pc^3 当たり3.8星数で、2kpcの所では0.3星数まで急に減少する。これはOB型星の空間分布の傾向とよく一致する(Kirton and FitzGerald 1974)。光度関数領域15番(以下LF15と略す)の方向ではM2-M4型巨星の空間密度は、射手座腕のある太陽より2kpcの場所に極値を持つが、M5-M10型巨星には極値がない(Thé et al. 1974)。一方、渦状腕間方向であるLF13領域ではM2-M4型巨星の空間密度分布に極大値が見られない(Vleeming and Thé 1975)。Vleeming and Thé (1975) はさらに、M2-M4型巨星とM5-M10型巨星の空間密度の比が渦状腕内では約10であるのに対し、渦状腕間では約3であることを見つけた。M2-M4型巨星の射手座腕とパルセウム腕への集中現象はそれぞれAlbers (1962) と Nandy et al. (1978) も確認している。

以上のことから、M型巨星はひとつのグループの星ではなく、3つのグループ、すなわち異なる空間分布を持つM2-M4, M5-M6.5, M7-M10に属する星の混合であり、特に早期M型巨星は、若い渦状腕天体とより古い種族の星から成っているのではないかと示唆される。2-2章で述べたように、M型巨星は比較的若い星と思われてきた。従ってなぜ早期M型星と晚期M型星の空間分布が明らかに異なるのか、早期M型巨星が渦状腕に集中して見えるのか明らかでない。Neckel (1975) はこの現象がM型超巨星の混合によるものであり、また空間分布を求める時、絶対等級の分散を大きく取りすぎている ($\sigma = 0.6 - 0.7$ 等) ことが間違った結果を生んでいると結論している。

この章での報告の目的は、太陽より2 kpcの場所にペルセウス腕のあるカニオペア領域で、M型巨星の空間分布を太陽からの距離、銀河面からの距離の関数として求めることである。その結果とOB型星の空間分布、銀河系の質量分布モデルと比較することにより、M型巨星と渦状腕の間の関連をM型巨星の進化に照らして調べる。

3-2 観測

観測領域は $\alpha_{1950} = 0^h 30^m 8$, $\delta_{1950} = 60^\circ 42'$ ($l = 120.8^\circ$ $b = -1.8^\circ$) に中心を持つカニオペア方向、直径 7° の領域 (385 平方度) である。Lynds (1968) の暗黒星雲の図や、Neckel (1967) の星間吸収の図に見られるように、この領域は一部を除いて比較的星間吸収の小さな場所である。中心付近には利光比較星として用いられたいくつかの散開星団がある。

観測は大学院観測所の40/70/120 cmのシュミット望遠鏡を用いてなされた。スペクトル写真は幅付けせずに頂角 5° の対物プリズムを用いて

得られた 分散は大気の Aバンドで 2820 \AA mm^{-1} である Hoya R68 のフィルターとコグニウ IN 乾板の組み合わせで 3 枚のスペクトル写真を得た。波長域は 6800 \AA と 8800 \AA の間である。1 枚は 1 分と 10 分で二重露出された。他の 2 枚は、アンモニア溶液で増感された、それぞれ 15 分、60 分露出のものである。

写真測光のための直接写真も同じ望遠鏡を用いて得られた。V 等級を求めるため、コグニウ 103aD と IIaD の乾板を用いそれぞれ 30 分、60 分、露出された。I 等級のためには、コグニウ IN 乾板を用い、それぞれ 15 分、20 分露出の 2 枚を得た。フィルターについては、2-5 章で述べられている。

領域誤差と乾板誤差を調べるために、観測領域の中心を 3 度ずらして、さらに 2 枚の直接写真を得た。これらのスペクトル、直接写真は 1977 年 9 月と 10 月に得られたが、1978 年 11 月にはさらにも一枚のスペクトル写真も得られた。これらの観測に加え、領域誤差をさらに詳しく調べるため、ヒアデス星団とコマ散開星団を観測した。ヒアデス星団の観測は、約 100 星のメンバーが、乾板上でよく分散するようにつに、 $\alpha_{1950} = 4^h 26^m$, $\delta_{1950} = 16^\circ 3'$ を視野の中心にしてなされた。メンバーの 100 星は領域誤差を調べるのに十分な数である。コマ散開星団の観測は、視野の中心を $\alpha_{1950} = 12^h 20^m$, $\delta_{1950} = 26^\circ 1'$ にしてなされた。この観測の結果、I 等級、V 等級共、領域誤差は 0.15 等以下であることがわかった。

3-3 晩期型星の検出と分類

検出と分類をできるだけ完全にやるために、1977 年に得られたすべてのスペクトル写真上で 4 回 M, C, S 型星の候補を探索し、それらを 3 度分類し、平均した。分類が不確かである星は(これらは主に早期 M 型巨

星であった), 1978年に得られたスペクトル写真上で再び確認された。検出された最も暗い晩期M型星は $m_E = 12.4$ 等であり, 早期M型巨星ではそれよりわずかに明るい。

M0型星は分類が不確かであるので(2-4章), 以下の議論から除外された。また, 検出されたC, S型星のデータはそれぞれ表3-2, 3-3に示されているが, 細分類が困難であり, 数も少ないので, 議論から除外された。

3-4 写真測光

観測領域内にある散開星団 NGC 103, NGC 129, NGC 225 のメンバーの星を, 検出されたM, C, S型星のVとI等級を求めるための比較星として用いた。そのメンバーのI等級は2-5章で与えた関係式を使って Hardorp (1960) (NGC 103), Hoag et al. (1961) (NGC 129), Arp et al. (1959) (NGC 225) によるBVデータと Becker and Fenkart (1978) の E_{B-V} の見積りから得られた。観測領域は観測によって求められた全吸収対選択吸収比 R の値が3.0であるペルセウス座 (Johnson 1968) の近くであり, 2-3式によると R の小さな違いは計算されたI等級にはほとんど影響を与えないので, $R=3.0$ を用いた。

東京天文台本管観測所のアイリスフオートメータを用いて検出された全M, C, S型星のVとI等級を求めた。回帰曲線は2次の最小自乗法で得られた。領域誤差はこの章での研究の範囲では無視できるので補正は行なわなかった。2-3式で求めた3つの散開星団のI等級の回帰曲線に系統的な違いが見られた。NGC 225のそれは, NGC 103とNGC 129の平均より等級に関係なく約0.13等暗い。これは散開星団の色超過の評価の間違いか, あるいは, 2-3式の変換式の非不変性によるものと思われる。

しかし、そのように小さな誤差は、3-8章で議論される結論に著しく影響を与えることはないので、ここでの測光には3つの回帰曲線の平均を用いた。得られたI等級と色指数 $V-I$ の標準誤差はそれぞれ0.09等, 0.13等である。

3-5 観測結果

表3-2, 3, 4に、観測領域内で検出された全M, C, S型星のデータを銀経の昇順に示す。これらの表の第2列はスペクトル型で、M型星については、文字Mを省略した。尚、65はM6.5を意味する。C, S型星の細分類はされてない。KronシステムでのI等級、色指数 $V-I$ (ここでのV等級はJohnsonシステム)は、それぞれ第3列、第4列に与えられている。第5列、6列は銀河座標である。位置の精度は、銀経で2", 銀緯で1"である。位置を求める時利用した比較星は、表3-2のM型星のうちでSmithsonian Astrophysical Observatory Star Catalogueの中で同定された星から選択された。第3, 4列のダッシュは乾板上で露出過度のため、 V , $V-I$ を決めることができなかった星を示す。これらの星でV等級のみ求められた星については、最後の列にそれを与えた。第4列のみダッシュの星は、 V -写真上で、露出過度かあるいは露出不足のものである。表のデータに付されたコロンはスペクトル写真あるいは直接写真上の星の重複、露出不足、局所的な欠損による不確かな結果を示す。スペクトル型に付したセミコロンは、M型星であることは確かであるが、細分類が不確かであることを示す。

表3-5には、検出された全M型星のサブクラス毎の総数ならびに単位平方度当たりの星数を記した。この表は表3-2でコロシ、セミコロシを付された星も含む。

表3-2 M型星のカパロ"

No.	Sp	I	$V-I$	I	b	Remark
1	3	11.62	3.31	117°16'53"	-1°41' 3"	
2	4	8.24	3.52	117 17 46	-1 20 40	
3	3	11.64	3.79	117 18 11	-1 47 25	
4	3	8.81	3.37	117 20 46	-2 13 57	
5	4	6.78	-	117 22 54	-2 36 23	
6	6	10.58	5.03	117 24 28	-1 20 17	
7	3	11.43	3.10	117 26 6	-2 3 42	
8	1	10.55	3.58	117 26 33	-2 14 20	
9	6	11.16	4.68	117 26 34	-0 44 10	
10	65	12.31	-	117 28 7	-0 44 19	
11	2	11.34	3.31	117 28 7	-2 8 20	
12	1	11.68	2.58	117 30 32	-2 1 42	
13	2	10.37	3.12	117 31 52	-0 58 29	
14	2	10.48	3.21	117 32 55	-2 1 53	
15	1	10.70	3.32	117 34 57	-3 0 56	
16	3	11.61	2.83	117 39 50	-2 27 55	
17	2	11.53	1.43	117 40 0	-3 0 57	
18	7	9.93	5.75	117 40 6	-1 49 8	
19	6	11.31	2.70	117 41 60	-2 42 9	
20	65	9.07	5.17	117 43 11	-0 36 24	
21	1	10.79	3.22	117 43 15	-0 51 10	
22	6	9.42	4.81	117 43 17	-0 10 32	
23	4	6.82	3.51	117 43 35	-2 6 42	
24	1	11.65	2.96	117 44 7	-3 0 49	
25	1	11.63	2.90	117 45 17	-0 23 6	
26	2	10.69	2.36	117 46 2	-1 37 39	
27	1	11.35	3.62	117 46 57	-1 13 52	
28	2	-	-	117 47 47	-0 30 39	
29	1	11.19	3.72	117 50 24	-1 2 1	
30	2	8.75	2.36	117 52 14	-2 34 44	
31	4	12.07	-	117 55 23	-3 25 1	
32	1	11.13	1.07	117 56 23	-0 3 52	
33	1	11.27	3.49	117 56 58	-1 58 36	
34	65	10.37	4.35	117 57 42	-2 1 31	
35	65	10.10	5.11	117 58 22	-0 14 52	
36	4	9.24	3.21	117 59 52	-0 1 52	
37	3	9.97	3.38	118 0 58	-1 54 9	
38	2	9.20	2.44	118 4 15	0 18 51	
39	2	10.90	2.53	118 4 21	-3 46 27	
40	2	9.90	3.45	118 4 34	-0 43 25	
41	65	8.45	5.20	118 5 10	0 21 36	
42	1	11.28	3.79	118 6 32	-3 26 52	
43	65	11.62	5.49	118 6 55	-1 52 18	
44	1	11.84	3.91	118 6 55	0 25 51	
45	3	11.01	4.74	118 7 11	-3 33 5	

No.	Sp	I	$V-I$	I	b	Remark
46	1	11.43	2.09	118° 7' 17"	-0° 54' 23"	
47	6	11.36	-	118 8 19	-1 0 29	
48	2	11.97	1.35	118 8 53	0 3 51	
49	3	7.19	-	118 9 40	-2 2 23	
50	2	11.19	2.93	118 10 15	-0 16 53	
51	2	12.12	3.21	118 13 11	-3 2 52	
52	65	-	-	118 13 25	-1 14 54	$v=10.36$
53	5	10.63	4.11	118 13 40	-1 43 22	
54	4	10.64	4.29	118 14 39	-0 23 23	
55	2	10.74	3.29	118 15 26	-3 52 60	
56	4	10.54	4.75	118 16 33	-5 32 12	
57	1	11.34	2.37	118 17 57	0 6 49	
58	2	7.61	2.97	118 18 23	-1 23 51	
59	3	11.46	3.28	118 18 43	-0 48 31	
60	3	11.37	4.50	118 20 26	-0 47 17	
61	2	11.15	1.72	118 20 30	-1 36 31	
62	1	10.67	2.70	118 21 21	-2 52 20	
63	1	10.76	3.09	118 22 4	-0 7 32	
64	3	11.05	4.35	118 22 58	-2 56 43	
65	4	11.76	4.09	118 23 59	0 28 49	
66	65	11.07	5.58	118 24 52	-2 39 36	
67	5	11.45	5.49	118 25 17	-2 24 13	
68	1	7.08	-	118 26 34	-2 24 53	
69	1	10.72	2.35	118 27 14	-3 53 40	
70	3	11.70	2.91	118 27 42	-3 41 28	
71	6	9.55	4.83	118 28 11	0 13 5	
72	65	9.01	4.39	118 29 16	-3 48 5	
73	4	10.17	3.34	118 29 34	-3 1 24	
74	4	11.20	4.76	118 30 0	-2 43 12	
75	2	9.90	3.92	118 30 3	-3 42 20	
76	2	11.33	3.38	118 30 24	-4 11 2	
77	3	11.34	3.53	118 30 30	-1 28 31	
78	1	9.19	2.77	118 30 33	-1 57 21	
79	2	11.06	3.35	118 30 40	-0 11 42	
80	2	10.12	2.77	118 30 44	-2 50 39	
81	1	10.29	2.64	118 31 23	-3 30 36	
82	2	9.05	2.53	118 31 40	-2 36 6	
83	1	10.62	3.42	118 32 33	-1 7 54	
84	3	11.29	4.50	118 32 37	0 34 43	
85	2	10.72	2.68	118 32 52	-4 8 55	
86	3	10.57	3.51	118 33 10	-2 37 5	
87	3	12.10	4.15	118 33 11	-4 15 53	
88	2	11.80	2.49	118 34 23	-3 8 25	
89	3	11.31	2.15	118 34 36	-2 11 53	
90	6	9.04	4.09	118 34 47	-2 11 53	

No.	Sp	I	$V-I$	I	b	Remark
91	3	11.40	4.06	118° 34' 59"	-2° 25' 22"	
92	3	10.44	3.84	118 35 29	-1 10 8	
93	1	8.22	2.52	118 35 56	-0 23 55	
94	2	11.11	4.57	118 37 8	-0 13 39	
95	4	8.72	3.70	118 37 42	-1 2 37	
96	1	11.02	4.09	118 37 50	-0 22 11	
97	1	10.79	3.29	118 37 53	-3 26 15	
98	7	10.73	6.01	118 38 27	-2 21 4	
99	3	8.92	3.78	118 38 50	-0 24 49	
100	7	12.32	-	118 38 52	-0 3 52	
101	1	10.56	2.76	118 39 36	-4 2 16	
102	1	10.89	3.12	118 39 42	-0 56 39	
103	7	11.39	-	118 40 52	-3 46 7	
104	1	10.95	3.18	118 41 1	-0 10 16	
105	3	8.98	3.41	118 43 7	-0 13 16	
106	2	10.41	2.79	118 43 31	-3 28 5	
107	5	11.05	4.30	118 43 39	-3 31 13	
108	7	3.70	5.03	118 44 30	-4 13 1	
109	3	9.74	3.64	118 44 50	-0 4 37	
110	4	10.12	3.32	118 45 28	-0 19 44	
111	4	7.42	3.04	118 45 47	-0 26 25	
112	1	10.73	3.04	118 45 49	-3 42 59	
113	1	9.89	2.37	118 47 44	-2 39 50	
114	3	11.27	2.46	118 48 3	-0 58 5	
115	2	8.94	2.65	118 48 25	-2 30 22	
116	3	9.62	3.76	118 49 24	-1 27 17	
117	65	12.11	-	118 50 58	-1 42 43	
118	2	8.56	2.97	118 52 9	-1 47 46	
119	3	10.72	4.37	118 54 1	-0 23 14	
120	3	8.37	3.42	118 55 2	-4 18 14	
121	1	11.10	3.42	118 55 22	-1 5 6	
122	1	-	-	118 55 40	-3 1 45	
123	3	11.90	4.23	118 55 41	-1 41 30	
124	4	10.28	3.42	118 56 25	-1 41 27	
125	2	12.23	1.97	118 56 41	-3 17 48	
126	3	11.34	3.26	118 57 18	-2 68 20	
127	2	11.94	1.21	118 58 51	-0 44 50	
128	1	10.36	3.50	118 59 6	-3 2 7	
129	3	11.07	3.32	119 0 7	-2 18 59	
130	2	8.90	3.42	119 0 45		
131	5	10.42	4.02	119 1 28		
132	1	10.20	3.24	119 1 34		
133	65	8.30	5.29	119 2 47		
134	1	10.27	2.55	119 3 34		
135	1	11.52	4.16	119 3 46		

No.	Sp	I	$V-I$	I	b	Remark
136	65	10.32	6.01	119° 5' 43"	-3° 24' 57"	
137	4	8.18	3.42	119 6 27	-0 50 12	
138	4	10.53	4.05	119 7 33	-1 10 33	
139	4	10.70	4.30	119 7 51	-0 30 27	
140	3	11.32	2.60	119 7 56	-1 43 19	
141	4	12.11	2.80	119 9 42	-1 12 46	
142	2	-	-	119 10 35	-2 41 53	$v = v.33$
143	2	12.03	2.98	119 10 56	0 41 57	
144	3	11.06	3.13	119 12 15	0 52 11	
145	2	10.71	3.76	119 12 54	-3 7 4	
146	7	11.61	-	119 13 4	0 24 1	
147	4	11.92	-	119 13 7	-2 15 40	
148	3	11.73	2.53	119 13 31	-1 45 13	
149	2	10.89	3.42	119 13 56	-4 16 34	
150	6	11.22	5.61	119 14 10	0 52 21	
151	2	9.57	2.44	119 14 22	-0 21 4	
152	2	9.78	3.09	119 14 36	0 1 44	
153	2	11.73	2.39	119 14 57	-1 13 55	
154	6	11.79	4.94	119 16 11	-0 51 16	
155	7	10.77	5.93	119 16 16	0 49 15	
156	2	11.45	1.80	119 17 25	1 15 56	
157	65	-	-	119 17 35	-0 31 28	$v=10.31$
158	1	10.73	3.32	119 18 19	-0 19 36	
159	65	10.30	5.17	119 18 48	-4 43 41	
160	2	11.30	2.84	119 19 29	-3 56 30	
161	5	10.66	4.42	119 20 2	-1 23 21	
162	1	10.77	2.33	119 20 2	-4 40 11	
163	1	10.71	3.25	119 20 23	-3 43 53	
164	2	9.49	3.13	119 21 10	-1 8 23	
165	1	10.95	1.96	119 21 31	-4 24 9	
166	65	10.18	5.08	119 21 42	-0 31 27	
167	3	11.99	4.24	119 21 52	-2 40 43	
168	3	11.23	1.25	119 22 18	-1 12 25	
169	3	7.34	3.06	119 22 25	-1 8 40	
170	2	12.05	2.27	119 22 58	-3 28 52	
171	8	11.05	5.93	119 24 13	0 30 14	
172	2	12.15	1.25	119 24 30	-1 20 24	
173	6	9.94	5.15	119 25 48	-1 7 31	
174	3	10.36	3.95	119 26 1	-1 54 59	
175	3	8.31	3.30	119 27 27	-3 20 50	
176	2	11.52	2.22	119 27 57	-1 7 14	
177	2	7.33	2.69	119 28 2	-3 46 39	
178	1	9.72	5.49	119 28 10	-2 53 19	
179	5	11.57	5.69	119 28 22	-0 0 36	
180	3	9.87	3.36	119 28 22	-0 0 36	

表 3-2 (続き)

No.	Sp	l	$V-l$	l	b	Remark
131	2	11.34	4.24	119°23'56"	-2° 9' 4"	
132	2	10.13	2.39	119 29 12	-3 53 7	
133	2	12.05	2.19	119 30 39	-1 59 9	
134	1	-	-	119 31 5	-4 44 15	
135	3	8.37	3.05	119 32 29	-3 51 54	
136	1	11.33	3.39	119 32 40	-1 22 54	
137	1	7.91	2.76	119 34 3	0 10 57	
138	1	10.67	3.10	119 34 51	-0 46 9	
139	9	10.39	-	119 34 51	-3 10 32	
140	7	11.90	-	119 34 60	-2 25 32	
141	1	10.71	3.51	119 35 29	-0 15 3	
142	3	9.12	2.99	119 35 29	-0 29 29	
143	2	11.16	2.51	119 35 42	1 20 27	
144	4	9.38	3.79	119 35 56	-4 36 55	
145	6	3.20	4.22	119 36 23	-4 52 30	
146	4	9.96	5.30	119 37 50	0 45 3	
147	2	10.25	2.70	119 38 1	-3 48 44	
148	2	9.73	2.58	119 38 17	-1 49 39	
149	1	8.79	3.13	119 38 55	-3 53 19	
150	1	8.39	2.53	119 39 19	-4 49 35	
151	4	11.40	4.76	119 39 55	-3 21 6	
152	2	11.57	3.50	119 40 12	-4 19 13	
153	65	8.59	5.02	119 40 21	-0 19 56	
154	5	11.62	5.08	119 40 42	-0 5 57	
155	2	11.42	2.11	119 40 56	-3 33 31	
156	2	11.44	3.48	119 42 22	-1 36 33	
157	1	9.46	2.85	119 43 47	-1 54 58	
158	3	9.57	3.29	119 44 2	-0 50 56	
159	4	12.05	-	119 44 51	-1 55 53	
160	4	11.61	4.72	119 45 6	-1 55 23	
161	3	10.32	3.26	119 45 38	-4 59 47	
162	1	9.44	2.64	119 45 52	-0 10 47	
163	3	11.85	1.67	119 46 15	-0 44 11	
164	3	10.15	4.01	119 46 19	1 13 6	
165	5	10.14	4.41	119 47 30	-2 27 45	
166	3	9.41	3.79	119 48 17	0 37 16	
167	2	9.80	3.35	119 48 54	-2 22 33	
168	1	7.95	2.72	119 49 3	0 16 45	
169	6	10.33	4.74	119 49 57	0 58 36	
170	2	10.55	3.10	119 49 58	-1 6 55	
171	4	11.36	3.50	119 50 21	-0 47 52	
172	6	8.42	4.90	119 52 33	-3 25 56	
173	3	9.70	3.23	119 53 10	-0 12 18	
174	3	11.91	2.51	119 53 19	0 35 47	
175	1	10.82	2.85	119 53 33	-0 22 29	

No.	Sp	l	$V-l$	l	b	Remark
226	6	12.35	-	119°54'36"	1°15'36"	
227	4	9.35	4.92	119 54 54	-2 33 3	
228	1	11.29	3.62	119 55 16	-4 26 52	
229	1	10.24	2.66	119 55 58	-0 24 32	
230	2	-	-	119 56 30	-1 11 29	
231	7	12.38	-	119 56 42	1 9 9	
232	65	8.72	4.67	119 57 18	-1 2 14	
233	1	10.34	3.28	119 57 49	-2 57 47	
234	2	11.45	5.45	119 58 52	-3 7 43	
235	2	11.37	2.50	119 59 1	-1 15 9	
236	1	10.06	2.73	119 59 21	1 7 2	
237	5	11.42	3.26	120 0 3	0 30 47	
238	3	12.01	2.33	120 0 12	0 11 57	
239	2	11.90	2.70	120 0 25	-3 10 36	
240	3	10.53	4.57	120 0 25	-3 29 2	
241	4	11.55	4.09	120 0 38	-3 19 18	
242	2	8.05	3.55	120 1 43	1 24 43	
243	3	11.38	2.73	120 1 56	-1 52 53	
244	1	11.15	2.75	120 1 57	-2 1 45	
245	2	9.57	3.51	120 3 40	-2 16 31	
246	65	8.73	5.40	120 3 52	-2 15 0	
247	3	11.15	4.17	120 4 29	-3 14 30	
248	2	11.43	3.32	120 5 3	1 10 2	
249	7	10.84	6.02	120 5 9	-2 27 37	
250	1	10.89	3.24	120 5 17	-4 42 35	
251	1	9.62	2.65	120 6 39	-0 5 5	
252	4	9.48	3.78	120 6 40	0 10 9	
253	3	11.48	2.72	120 7 32	-0 59 34	
254	3	8.59	2.75	120 8 49	-1 19 57	
255	2	9.72	2.42	120 9 23	-0 33 19	
256	2	10.45	3.45	120 9 31	-4 16 59	
257	2	10.26	3.96	120 9 38	-2 52 31	
258	3	11.33	3.65	120 10 3	-2 57 42	
259	65	8.78	4.78	120 11 18	1 17 58	
260	2	10.81	2.05	120 12 5	1 21 30	
261	1	9.31	2.68	120 12 42	-0 3 51	
262	4	11.05	3.66	120 12 53	-3 1 26	
263	1	11.42	2.46	120 12 57	-4 38 56	
264	2	11.76	1.73	120 13 12	-4 39 43	
265	1	10.33	3.79	120 13 18	-2 37 29	
266	7	8.11	5.68	120 14 1	0 48 44	
267	8	11.27	5.58	120 14 36	0 48 31	
268	2	8.38	2.39	120 14 48	-0 16 44	
269	1	10.36	2.95	120 15 0	-4 22 47	
270	65	9.34	5.91	120 15 15	-1 55 34	

No.	Sp	l	$V-l$	l	b	Remark
271	1	11.15	3.15	120°15'23"	-3°18' 6"	
272	1	9.30	3.08	120 16 36	-3 0 40	
273	4	10.73	3.75	120 17 28	-1 32 17	
274	2	11.72	2.24	120 17 43	-4 34 9	
275	3	10.38	3.61	120 18 2	1 29 36	
276	3	3.62	3.32	120 18 7	-2 5 22	
277	2	9.43	2.90	120 18 3	-0 52 26	
278	5	10.16	4.18	120 18 13	-2 55 3	
279	6	9.30	4.11	120 18 20	-4 52 5	
280	6	10.63	4.31	120 18 21	-4 48 15	
281	1	11.14	3.55	120 19 6	1 21 3	
282	5	11.60	5.12	120 19 25	-2 24 32	
283	1	11.06	2.20	120 19 29	1 32 35	
284	1	9.91	2.65	120 20 34	-4 41 25	
285	5	10.09	4.22	120 20 47	0 36 30	
286	4	10.69	3.17	120 20 48	-3 58 3	
287	5	3.62	3.53	120 20 57	-3 9 38	
288	1	10.71	3.46	120 21 50	-3 27 49	
289	2	10.61	2.86	120 21 50	-0 35 53	
290	3	11.39	1.34	120 21 51	0 11 31	
291	6	10.14	4.03	120 24 7	0 3 59	
292	3	7.36	3.17	120 24 22	-2 52 36	
293	2	10.67	3.10	120 24 36	-1 33 46	
294	1	8.91	2.20	120 24 55	-3 55 17	
295	1	10.12	2.38	120 25 27	-2 24 18	
296	6	8.90	4.97	120 26 17	1 6 56	
297	6	10.71	4.68	120 27 13	-3 25 25	
298	2	9.98	2.17	120 27 28	-0 19 49	
299	1	11.03	3.42	120 27 33	-3 48 58	
300	2	12.32	3.26	120 28 13	-1 48 31	
301	65	10.23	5.71	120 28 21	-3 44 38	
302	1	11.18	3.51	120 28 41	-1 10 35	
303	65	10.38	4.31	120 30 0	-4 22 42	
304	3	9.63	2.93	120 30 26	-4 28 51	
305	5	11.34	5.57	120 32 19	-2 32 27	
306	1	10.27	2.39	120 32 50	-0 23 18	
307	2	9.14	3.45	120 34 32	1 19 43	
308	1	11.37	3.71	120 35 29	-0 57 1	
309	65	10.49	5.29	120 35 49	-2 12 51	
310	5	8.71	3.90	120 36 12	0 16 3	
311	5	8.10	4.22	120 36 18	-4 31 54	
312	3	-	-	120 36 21	-4 34 36	
313	4	9.66	3.50	120 36 24	-4 51 36	
314	6	11.09	4.39	120 39 3	-0 22 18	
315	2	10.48	3.23	120 40 41	1 19 39	

No.	Sp	<i>l</i>	<i>V-l</i>	<i>l</i>	<i>b</i>	Remark
316	1	9.38	2.34	120°41'29"	0°14'25"	
317	2	11.38	1.58	120 41 43	0 21 49	
318	2	10.60	2.13	120 44 7	0 49 19	
319	2	11.18	1.96	120 45 13	-1 30 36	
320	1	11.51	1.93	120 45 39	1 13 51	
321	2	9.39	1.07	120 46 4	0 12 9	
322	1	10.18	3.34	120 46 7	0 57 15	
323	4	9.15	3.90	120 46 18	0 3 45	
324	4	11.39	4.17	120 46 22	-1 32 22	
325	7	10.72	5.44	120 47 16	-4 5 44	
326	3	10.08	3.04	120 48 18	-4 25 17	
327	1	11.63	2.25	120 48 28	-1 40 25	
328	2	10.27	3.56	120 49 15	3 43 25	
329	1	10.18	2.35	120 49 36	0 18 10	
330	5	8.90	3.90	120 50 60	-2 28 22	
331	4	11.31	-	120 51 42	-0 1 49	
332	7	10.16	5.65	120 52 19	-4 18 14	
333	4	7.59	3.43	120 52 42	-4 53 54	
334	2	11.27	2.26	120 53 6	-4 28 48	
335	65	12.03	4.34	120 53 16	-2 35 29	
336	4	12.33	2.12	120 53 43	-2 39 3	
337	2	8.73	4.08	120 54 13	1 11 14	
338	3	9.21	3.52	120 54 43	-1 7 3	
339	1	10.37	2.68	120 54 45	0 44 56	
340	1	11.57	1.12	120 55 26	-2 9 13	
341	7	9.32	6.00	120 56 36	-0 51 40	
342	1	10.79	2.62	120 57 40	-4 9 50	
343	1	10.04	3.08	120 58 58	-3 11 26	
344	2	11.33	4.09	120 59 54	-3 58 33	
345	7	8.52	5.02	121 0 26	-1 33 54	
346	2	11.74	3.97	121 0 26	-2 50 15	
347	2	12.01	2.52	121 0 28	0 37 53	
348	5	11.15	4.35	121 0 49	-1 13 53	
349	1	9.30	2.56	121 1 4	-2 22 40	
350	1	11.52	3.12	121 1 17	-1 6 51	
351	4	12.43	2.22	121 2 3	0 40 36	
352	3	11.91	0.65	121 2 21	-3 35 45	
353	3	10.72	3.88	121 2 28	0 51 45	
354	6	10.92	5.67	121 3 14	-2 47 2	
355	4	10.96	4.28	121 3 29	-1 23 23	
356	65	10.44	5.63	121 3 32	-3 36 54	
357	6	8.04	4.25	121 5 33	-4 2 51	
358	3	10.00	3.46	121 5 55	-2 3 29	
359	4	9.97	4.43	121 7 40	-3 24 6	
360	3	12.31	2.91	121 7 45	-3 28 6	

表 3-2 (続 3)

No.	Sp	l	$V-l$	l	b	Remark
361	1	11.70	2.63	121° 8' 31"	0° 38' 12"	
362	4	11.42	4.55	121° 8' 38	-2° 52' 38	
363	4	11.68	2.15	121° 9' 6	-2° 41' 46	
364	4	11.37	4.37	121° 9' 37	-2° 38' 25	
365	1	9.86	2.46	121° 9' 58	-2° 8' 27	
366	2	10.26	2.30	121° 10' 18	-0° 33' 27	
367	1	11.26	2.04	121° 11' 2	-2° 35' 43	
368	4	-	-	121° 11' 7	-0° 8' 1	
369	3	11.28	1.70	121° 11' 49	-2° 2' 42	
370	3	8.50	3.28	121° 11' 52	-4° 3' 50	
371	2	11.47	1.00	121° 11' 52	1° 1' 17	
372	1	11.46	4.19	121° 11' 54	-1° 53' 37	
373	4	9.99	4.02	121° 12' 30	-1° 24' 14	
374	1	10.46	2.68	121° 13' 15	-2° 13' 56	
375	3	10.39	4.26	121° 14' 49	0° 28' 8	
376	1	10.20	2.64	121° 16' 13	-0° 36' 38	
377	5	11.67	4.54	121° 16' 39	-2° 48' 5	
378	2	11.01	3.50	121° 16' 52	1° 21' 6	
379	4	10.97	3.62	121° 16' 58	-3° 58' 13	
380	1	8.59	2.32	121° 17' 44	-0° 22' 8	
381	8	7.30	4.91	121° 17' 60	0° 18' 28	
382	65	11.97	3.71	121° 18' 14	-0° 33' 17	
383	5	8.31	4.16	121° 20' 19	-0° 23' 13	
384	3	10.77	2.72	121° 21' 15	-1° 23' 6	
385	2	11.66	2.79	121° 21' 25	1° 30' 16	
386	7	-	-	121° 22' 12	-3° 9' 21	V=10.71
387	4	11.99	3.69	121° 22' 21	-1° 20' 24	
388	65	12.37	4.18	121° 23' 30	-1° 59' 2	
389	4	7.28	3.04	121° 24' 8	-4° 40' 29	
390	1	10.65	3.64	121° 25' 22	-0° 53' 24	
391	3	7.13	2.70	121° 25' 28	-1° 6' 6	
392	2	10.90	3.18	121° 25' 33	-3° 5' 19	
393	5	11.76	1.98	121° 26' 5	-1° 26' 46	
394	2	10.33	2.96	121° 26' 30	-1° 7' 36	
395	2	10.13	3.51	121° 27' 2	0° 49' 46	
396	3	6.94	3.83	121° 27' 32	1° 3' 57	
397	3	10.50	3.89	121° 27' 33	-1° 12' 57	
398	3	10.86	4.01	121° 27' 40	-0° 53' 44	
399	3	11.67	2.31	121° 27' 57	-1° 5' 34	
400	1	10.57	2.68	121° 28' 22	-2° 16' 54	
401	1	9.05	3.03	121° 29' 1	-1° 7' 55	
402	2	8.21	2.60	121° 29' 56	-4° 18' 48	
403	2	9.16	3.10	121° 30' 2	-1° 7' 9	
404	4	10.00	2.97	121° 30' 6	-0° 34' 1	
405	1	9.79	3.17	121° 30' 21	-1° 19' 59	

No.	Sp	l	$V-l$	l	b	Remark
406	65	10.12	5.61	121° 30' 48"	-2° 48' 46"	
407	4	11.66	4.28	121° 30' 51	-1° 40' 59	
408	3	9.53	3.23	121° 31' 44	-1° 28' 51	
409	2	11.65	2.37	121° 31' 59	-0° 11' 28	
410	2	10.26	2.93	121° 32' 29	-0° 38' 3	
411	1	10.35	2.93	121° 33' 3	-2° 2' 46	
412	1	10.36	2.30	121° 33' 12	-1° 8' 47	
413	5	8.59	3.73	121° 33' 18	-1° 53' 28	
414	2	9.78	2.64	121° 33' 57	-0° 33' 4	
415	1	-	-	121° 34' 12	0° 12' 14	
416	1	10.09	2.78	121° 34' 25	-1° 20' 8	
417	2	10.81	2.00	121° 34' 32	-2° 25' 15	
418	5	10.09	5.01	121° 34' 35	1° 13' 57	
419	3	10.21	3.76	121° 34' 46	-0° 3' 48	
420	3	7.85	3.46	121° 34' 47	-3° 18' 6	
421	4	11.91	4.11	121° 35' 36	0° 49' 24	
422	3	11.36	1.84	121° 36' 4	-1° 49' 14	
423	3	9.18	3.61	121° 36' 9	0° 25' 18	
424	1	10.60	2.76	121° 36' 35	0° 53' 60	
425	1	9.41	2.49	121° 36' 53	-0° 10' 20	
426	2	9.22	3.04	121° 36' 54	-3° 51' 31	
427	2	8.33	3.51	121° 36' 57	1° 23' 22	
428	3	11.99	1.52	121° 37' 37	-2° 58' 6	
429	2	10.63	2.76	121° 37' 38	-4° 50' 4	
430	2	12.14	1.21	121° 38' 23	-3° 27' 35	
431	2	10.39	2.23	121° 38' 39	-1° 45' 59	
432	5	12.44	-	121° 39' 17	-1° 35' 46	
433	3	11.83	2.80	121° 39' 17	0° 33' 50	
434	2	9.08	3.70	121° 39' 35	0° 21' 15	
435	2	12.16	2.51	121° 39' 46	1° 5' 27	
436	3	9.82	3.49	121° 39' 57	-3° 13' 27	
437	2	10.58	2.99	121° 40' 44	0° 38' 14	
438	5	8.95	4.21	121° 40' 50	-0° 45' 39	
439	65	8.19	5.63	121° 41' 7	-2° 46' 11	
440	3	11.25	4.69	121° 41' 43	0° 39' 39	
441	7	9.88	5.94	121° 42' 6	-3° 40' 56	
442	7	11.34	-	121° 43' 25	0° 31' 2	
443	5	10.86	3.51	121° 43' 43	-2° 48' 4	
444	4	9.79	3.75	121° 43' 50	-1° 40' 48	
445	2	11.09	3.75	121° 44' 1	-2° 13' 36	
446	4	10.35	3.32	121° 44' 10	-1° 24' 34	
447	3	10.14	5.70	121° 44' 15	-1° 17' 31	
448	3	9.95	3.08	121° 44' 29	-3° 13' 7	
449	2	11.33	1.16	121° 45' 0	-4° 56' 48	
450	3	11.73	3.73	121° 45' 2	-0° 11' 45	

No.	Sp	l	$V-l$	l	b	Remark
451	3	10.74	2.22	121° 45' 6"	-2° 47' 46"	
452	3	11.50	2.55	121° 45' 24	1° 12' 23	
453	1	11.24	2.91	121° 45' 25	-2° 20' 3	
454	3	11.21	3.08	121° 45' 27	-1° 26' 25	
455	2	10.30	2.46	121° 45' 55	0° 48' 9	
456	5	9.26	4.35	121° 46' 12	-3° 44' 1	
457	4	10.95	3.58	121° 46' 25	-4° 26' 54	
458	2	11.13	2.52	121° 46' 32	-1° 45' 12	
459	65	8.27	5.47	121° 47' 5	-1° 22' 17	
460	3	11.96	1.30	121° 47' 35	-1° 58' 5	
461	65	10.43	5.69	121° 48' 5	-1° 30' 56	
462	2	10.72	3.64	121° 48' 48	0° 59' 18	
463	2	10.04	2.26	121° 50' 37	-3° 53' 7	
464	3	12.45	-	121° 51' 8	0° 3' 52	
465	2	11.93	1.99	121° 51' 10	-3° 5' 15	
466	4	10.81	3.98	121° 51' 26	-4° 16' 33	
467	3	12.35	0.93	121° 51' 53	-4° 20' 50	
468	2	9.86	2.79	121° 51' 55	-0° 8' 49	
469	3	12.10	3.96	121° 52' 14	-1° 50' 9	
470	2	11.08	2.13	121° 52' 33	-4° 33' 26	
471	65	11.25	2.18	121° 52' 45	0° 52' 20	
472	2	11.78	2.24	121° 53' 6	-3° 45' 27	
473	1	9.97	2.75	121° 53' 15	-2° 1' 4	
474	4	10.55	3.99	121° 53' 54	-0° 56' 10	
475	2	11.62	3.43	121° 54' 39	0° 21' 24	
476	1	10.97	2.57	121° 54' 41	-3° 6' 16	
477	2	12.04	2.26	121° 54' 46	-1° 48' 57	
478	1	11.52	3.11	121° 54' 53	-2° 8' 38	
479	1	10.04	2.65	121° 56' 56	-0° 13' 19	
480	1	10.15	2.42	121° 57' 27	-2° 40' 32	
481	3	10.98	3.52	121° 57' 45	1° 16' 46	
482	2	10.83	2.77	121° 57' 54	0° 55' 49	
483	65	7.59	4.54	121° 58' 19	-3° 55' 20	
484	1	11.36	1.30	121° 58' 39	-4° 7' 26	
485	3	11.68	2.80	121° 58' 51	-1° 38' 19	
486	65	8.82	4.62	121° 58' 52	-2° 51' 1	
487	2	10.24	3.71	121° 59' 6	-3° 22' 32	
488	2	10.78	3.53	121° 59' 11	-0° 39' 46	
489	5	11.96	5.05	121° 59' 13	-0° 6' 40	
490	1	10.72	2.45	121° 59' 46	-4° 50' 38	
491	1	10.44	2.17	121° 59' 54	-4° 26' 44	
492	2	12.02	0.99	122° 0' 5	-0° 18' 37	
493	4	10.54	2.19	122° 0' 5	-2° 58' 17	
494	6	11.69	4.77	122° 0' 18	-4° 5' 21	
495	3	11.89	0.66	122° 0' 31	-4° 5' 21	

No.	Sp	l	$V-l$	l	b	Remark
496	2	11.00	2.11	122° 1' 25"	-3° 32' 18"	
497	2	7.64	3.26	122° 2' 55	-0° 34' 39	
498	5	8.70	4.02	122° 3' 23	-2° 9' 13	
499	2	11.94	3.22	122° 3' 30	0° 37' 47	
500	2	11.98	0.78	122° 3' 54	-3° 37' 44	
501	1	10.67	3.38	122° 4' 11	-3° 49' 27	
502	4	10.08	3.41	122° 4' 11	-4° 42' 11	
503	3	11.73	1.30	122° 4' 25	-0° 40' 22	
504	3	11.51	3.73	122° 5' 12	-0° 11' 22	
505	1	10.88	2.76	122° 5' 37	-4° 9' 31	
506	2	11.57	2.47	122° 6' 32	-2° 45' 23	
507	3	10.59	3.55	122° 6' 51	0° 2' 29	
508	4	8.34	3.43	122° 6' 20	-2° 52' 45	
509	4	7.67	3.39	122° 8' 50	-3° 56' 16	
510	2	12.16	1.27	122° 9' 32	-4° 2' 14	
511	3	11.60	2.70	122° 10' 43	-0° 49' 48	
512	2	11.72	2.49	122° 10' 58	-4° 12' 50	
513	1	9.78	2.22	122° 11' 4	-2° 2' 28	
514	7	11.82	3.52	122° 11' 26	-2° 51' 54	
515	5	10.87	3.63	122° 11' 37	-2° 35' 59	
516	2	8.06	2.64	122° 12' 3	-4° 27' 59	
517	7	11.80	5.42	122° 12' 18	-0° 1' 43	
518	5	9.76	4.17	122° 12' 32	-2° 20' 1	
519	2	10.29	2.52	122° 12' 50	-4° 43' 21	
520	1	10.34	2.58	122° 13' 22	-1° 39' 15	
521	1	10.60	1.96	122° 14' 38	0° 4' 13	
522	5	11.94	4.12	122° 14' 43	-3° 35' 55	
523	2	11.34	1.76	122° 15' 8	0° 45' 27	
524	3	7.74	2.62	122° 15' 45	-4° 5' 53	
525	3	8.59	3.23	122° 16' 12	-1° 36' 31	
526	6	11.98	-	122° 16' 25	-1° 19' 51	
527	6	11.03	4.36	122° 16' 35	1° 3' 6	
528	2	10.93	2.06	122° 17' 1	0° 46' 55	
529	6	10.36	4.55	122° 17' 6	-2° 16' 3	
530	1	11.19	2.26	122° 17' 32	-4° 42' 15	
531	5	10.21	4.22	122° 18' 21	-3° 22' 2	
532	3	9.16	3.16	122° 18' 50	-3° 3' 52	
533	3	11.69	1.60	122° 20' 30	-3° 38' 47	
534	3 1	11.27	1.97	122° 20' 38	0° 43' 53	
535	2 1	10.00	2.17	122° 20' 43	-3° 7' 15	
536	2	10.22	2.79	122° 20' 52	-5° 16' 48	
537	3	10.24	3.16	122° 21' 4	-4° 20' 37	
538	1	10.05	3.05	122° 21' 8	-2° 6' 6	
539	3	11.31	2.15	122° 21' 45	-2° 28' 22	
540	65	8.69	4.25	122° 21' 48	-2° 34' 12	

表3-2 (續三)

No.	Sp	l	$V-l$	l	b	Remark
541	2	11.26	2.63	122°22'18"	-4°10'16"	
542	2	9.29	2.39	122°22'33	0 18 49	
543	1	11.42	2.10	122°23'26	-2 48 36	
544	1	10.43	2.37	122°23'36	-3 10 21	
545	3	11.38	2.97	122°24' 1	0 36 20	
546	3	12.23	0.93	122°24'17	-1 11 11	
547	3	12.02	2.35	122°24'43	-0 30 31	
548	2	11.28	2.20	122°25'26	0 54 34	
549	4	11.17	4.26	122°26'24	-0 8 40	
550	65	10.94	5.18	122°26'58	-0 50 34	
551	6	11.64	3.62	122°27'14	-0 9 19	
552	1	10.28	2.98	122°27'47	-4 23 8	
553	4	9.04	4.72	122°27'54	-0 23 60	
554	2	10.48	2.91	122°28' 0	-2 17 51	
555	3	11.85	1.30	122°28'51	-1 49 3	
556	2	10.39	3.69	122°29' 7	-0 41 1	
557	2	10.80	2.53	122°30'33	-0 42 14	
558	1	10.39	2.96	122°30'52	-1 15 19	
559	2	10.62	2.68	122°30'53	-4 14 23	
560	2	10.21	1.50	122°30'54	-4 34 42	
561	4	8.40	4.12	122°31'14	-2 31 48	
562	2	10.81	2.91	122°31'24	-3 10 38	
563	5	9.68	3.44	122°32' 9	-3 35 21	
564	2	11.68	1.98	122°32'18	-1 29 14	
565	1	11.23	3.09	122°32'21	-0 5 24	
566	2	11.89	0.81	122°33'16	-0 54 6	
567	5	11.74	3.13	122°33'31	-2 27 33	
568	2	11.37	3.55	122°33'32	0 12 32	
569	1	11.46	2.64	122°33'35	-3 45 22	
570	3	11.35	0.84	122°33' 9	-0 56 6	
571	3	10.51	3.83	122°35'11	0 31 35	
572	4	12.07	-	122°35'15	-0 17 51	
573	3	11.65	2.15	122°35'32	-0 29 60	
574	6	9.09	5.95	122°35'42	-0 47 46	
575	2	10.72	3.02	122°36' 6	-0 6 21	
576	3	12.04	2.55	122°36'17	-2 14 43	
577	2	12.04	2.44	122°36'52	0 13 48	
578	3	9.06	3.44	122°37' 3	-2 54 49	
579	2	9.33	3.72	122°37'13	-1 10 3	
580	1	10.88	2.05	122°37'38	-2 30 18	
581	3	8.18	2.78	122°37'44	-3 24 43	
582	6	9.34	4.56	122°37'57	-1 27 28	
583	4	11.93	1.82	122°37'59	-1 54 33	
584	5	10.85	4.45	122°38'21	-2 48 56	
585	2	10.39	1.60	122°39'41	-1 39 49	

No.	Sp	l	$V-l$	l	b	Remark
586	1	10.92	2.39	122°39'44"	-0°20' 3"	
587	2	10.20	3.22	122°40'21	-3 27 39	
588	3	11.75	3.08	122°40'44	-0 13 7	
589	3	8.55	4.63	122°41'20	0 17 52	
590	1	10.39	3.70	122°41'24	-3 51 53	
591	2	9.16	2.57	122°41'47	-3 38 25	
592	1	11.00	2.53	122°42'41	-0 15 5	
593	1	11.51	2.33	122°43'13	0 10 49	
594	3	12.08	0.83	122°43'32	-3 35 27	
595	1	10.06	2.57	122°45'33	-0 25 32	
596	2	11.23	1.57	122°46'31	0 53 16	
597	2	11.20	2.91	122°47' 1	-0 29 23	
598	4	9.72	3.65	122°47' 6	-3 58 0	
599	3	7.04	-	122°47' 9	-2 44 20	
600	2	9.16	2.99	122°47'18	-0 21 31	
601	65	12.24	2.03	122°47'51	-2 14 10	
602	3	11.73	2.98	122°48'49	0 12 50	
603	4	7.39	4.14	122°48'58	0 10 49	
604	4	11.05	4.10	122°49' 5	-3 9 3	
605	5	9.76	4.42	122°49' 9	0 43 49	
606	3	10.52	2.32	122°49'31	-4 5 36	
607	3	11.46	3.73	122°49'46	-0 7 38	
608	2	9.73	3.21	122°50' 6	-3 2 6	
609	1	10.63	3.22	122°50'38	-0 43 0	
610	4	11.05	2.51	122°50'39	-0 10 52	
611	3	10.66	3.76	122°51'53	-1 59 12	
612	2	10.50	2.93	122°51'54	-1 47 58	
613	5	9.13	3.91	122°52'15	0 45 44	
614	2	8.20	3.15	122°52'44	-0 2 25	
615	6	9.33	4.98	122°52'53	-4 15 50	
616	5	11.31	4.49	122°53'25	-2 13 54	
617	3	11.52	3.15	122°53'55	-0 27 38	
618	1	11.61	2.83	122°53'59	-4 12 25	
619	7	10.04	5.65	122°54'30	-0 13 60	
620	1	10.94	3.30	122°54'33	-3 29 20	
621	2	10.76	2.40	122°55'50	-3 59 48	
622	7	-	-	122°55'52	0 2 59	
623	1	10.45	2.77	122°56'10	-1 51 43	
624	6	10.32	4.58	122°57'16	-4 3 26	
625	4	8.49	3.57	122°58'33	-2 7 49	
626	65	11.71	2.27	122°58'35	-2 16 38	
627	1	9.45	2.55	122°58'44	-1 41 25	
628	2	10.13	1.85	122°59'10	-1 23 33	
629	4	10.64	4.37	123° 0'12	-0 27 50	
630	1	11.60	3.35	123° 0'33	-0 53 45	

No.	Sp	l	$V-l$	l	b	Remark
631	2	11.44	3.26	123° 0'36"	-0°49'43"	
632	7	10.11	5.32	123° 2' 6	0 36 40	
633	8	10.72	5.94	123° 2'26	0 11 25	
634	6	-	-	123° 2'39	-3 8 45	
635	3	11.90	0.36	123° 3' 4	0 2 7	
636	6	11.90	1.34	123° 3'10	-3 58 24	
637	65	11.63	-	123° 4'36	-0 18 33	
638	2	11.25	2.93	123° 4'36	-3 15 47	
639	1	10.48	2.89	123° 4'36	-2 5 17	
640	4	8.39	3.79	123° 5'29	0 5 30	
641	2	7.54	2.64	123° 5'20	0 11 33	
642	65	11.64	-	123° 7'42	-2 16 27	
643	3	9.11	3.19	123° 8' 9	-3 15 27	
644	4	11.61	5.40	123° 8'43	-0 16 8	
645	2	9.65	2.49	123° 9' 0	-1 32 48	
646	3	8.36	3.02	123° 9' 6	-3 41 54	
647	1	10.51	3.15	123° 9'35	-0 9 5	
648	65	9.44	4.65	123°10' 6	-1 33 29	
649	1	7.03	4.09	123°11'10	-2 38 24	
650	1	11.36	2.85	123°11'10	-1 3 9	
651	2	10.37	3.03	123°12'14	0 20 13	
652	2	11.39	2.31	123°12'22	-3 12 55	
653	3	10.78	3.85	123°12'41	-1 24 31	
654	7	9.06	5.18	123°13'12	-3 38 14	
655	3	10.44	3.49	123°13'38	-2 14 29	
656	1	9.66	2.12	123°15'27	-2 38 42	
657	2	11.73	2.29	123°15'37	-1 55 50	
658	2	11.12	1.76	123°15'47	0 7 13	
659	2	11.16	1.76	123°16'36	-2 17 19	
660	4	10.26	4.70	123°18' 4	-1 42 57	
661	1	10.34	3.08	123°18'18	-2 3 54	
662	3	11.45	2.02	123°18'44	-2 28 8	
663	2	10.55	2.17	123°19' 9	0 8 54	
664	5	11.42	3.12	123°19'28	-2 36 43	
665	2	9.30	3.18	123°20' 3	-0 43 6	
666	7	10.17	4.65	123°20'45	-2 4 13	
667	5	9.80	4.33	123°20'50	-2 0 37	
668	1	10.68	3.08	123°21'58	-2 16 29	
669	2	9.72	2.57	123°22'24	0 2 46	
670	4	12.08	2.49	123°22'24	-2 30 12	
671	3	9.31	5.56	123°24'36	-2 30 12	
672	5	9.27	3.98	123°25'45	-3 23 57	
673	5	12.09	4.61	123°27' 8	-0 6 31	
674	1	9.74	4.19	123°27'13	-1 9 44	
675	1	10.34	3.25	123°27'45	-0 56 59	

No.	Sp	<i>l</i>	<i>V-l</i>	<i>l</i>	<i>b</i>	Remark
676	5	11.10	4.17	123°28'19"	0° 5'10"	
677	2	8.91	2.72	123°28'40	-2 59 5	
678	2	10.35	3.03	123°29'34	-0 10 24	
679	3	11.26	3.11	123°30' 3	-0 27 46	
680	65	10.99	5.56	123°31'37	-0 22 49	
681	4	10.70	2.69	123°32'17	-2 40 11	
682	7	10.54	-	123°32'44	-2 4 48	
683	3	9.51	2.91	123°33'45	-0 2 47	
684	3	11.41	2.63	123°34' 3	-0 5 29	
685	1	9.94	2.37	123°34'27	-0 11 30	
686	3	10.29	3.08	123°34'27	-2 28 35	
687	1	9.32	2.35	123°34'43	-0 36 4	
688	2	6.87	-	123°37'24	-0 7 3	
689	1	10.16	3.45	123°37'29	-1 44 17	
690	1	8.95	1.41	123°39'36	-2 13 27	
691	65	9.39	6.00	123°39'55	-1 23 36	
692	2	11.38	2.64	123°40'26	-1 53 41	
693	1	10.55	1.20	123°40'60	-2 13 45	
694	5	7.66	4.24	123°41' 2	-2 31 34	
695	4	11.50	5.23	123°41'14	-1 4 18	
696	1	10.28	3.11	123°41'54	-0 36	
697	1	8.25	2.75	123°42'10	-3 1 18	
698	2	11.56	2.03	123°43' 8	-0 47 29	
699	2	11.28	2.55	123°43'27	-0 23 45	
700	4	11.14	3.69	123°43'45	-0 15 22	
701	4	10.73	4.47	123°44'25	-1 5 6	
702	3	10.06	3.10	123°45'36	-2 54 45	
703	3	11.12	1.73	123°45'51	-2 4 51	
704	6	9.16	4.15	123°45'53	-2 7 8	
705	2	10.35	2.72	123°46'26	-0 19 29	
706	4	8.34	3.77	123°46'56	-1 58 12	
707	5	10.79	4.31	123°47'57	-2 2 43	
708	2	11.16	0.35	123°48'30	-2 35 10	
709	4	11.47	5.12	123°49'12	-1 11 16	
710	1	10.94	3.28	123°49'34	-1 10 52	
711	6	8.62	3.43	123°50'37	-2 15 28	
712	1	9.37	2.95	123°50'45	-1 45 46	
713	2	10.04	2.45	123°52'47	-2 43 13	
714	3	11.73	2.65	123°53'18	-0 43 15	
715	1	11.00	2.44	123°53'23	-2 27 54	
716	65	9.08	4.39	123°55'25	-2 8 5	
717	1	10.11	3.49	123°55'38	-0 41 55	
718	3	9.71	3.58	123°56' 1	-1 32 41	
719	5	7.90	4.55	123°57'54	-0 1 48	
720	3	10.00	3.18	123°59'23	-1 57 35	
721	4	8.63	3.96	124° 0'33"	-1°17'50"	
722	1	8.54	2.57	124° 6'45	-1 28 43	

表3-3. C型星のカタログ

No.	I	$V-I$	l	b
1.....	10 ^m 60	3 ^m 97	117° 46' 44"	-0° 37' 28'
2.....	7.94	2.84	118 5 11	0 14 41
3.....	11.64	4.02	118 15 36	-0 58 0
4.....	11.59	3.29	118 27 31	-1 37 29
5.....	11.75	3.86	118 37 14	0 28 56
6.....	7.02	—	118 41 45	0 54 2
7.....	12.24	1.51	118 42 17	0 49 9
8.....	10.69	0.77	118 50 27	0 37 15
9.....	10.54	3.69	119 4 35	-2 9 8
10.....	9.36	3.66	119 8 24	-3 24 13
11.....	8.92	3.08	119 10 33	1 12 3
12.....	7.32	3.18	119 13 15	-3 28 11
13.....	11.44	4.16	119 46 55	-0 1 7
14.....	11.97	4.19	119 53 14	-3 13 12
15.....	12.36	2.43	120 5 44	-1 44 18
16.....	9.90	4.22	120 14 27	-1 38 1
17.....	10.14	2.88	120 19 16	-0 16 48
18.....	12.19	3.32	120 32 34	1 29 35
19.....	9.12	3.58	120 49 52	-4 48 1
20.....	8.94	3.62	120 57 54	-1 29 30
21.....	10.16	3.85	121 1 27	-2 11 36
22.....	9.81	4.70	121 12 53	1 19 60
23.....	9.48	3.91	121 29 33	-2 4 10
24.....	11.29	4.31	121 55 45	0 37 15
25.....	10.63	5.08	122 11 12	-0 16 39
26.....	10.97	3.72	122 15 32	-0 5 9
27.....	9.36	3.32	122 16 51	-3 14 12
28.....	9.63	3.73	122 48 49	0 25 3
29.....	11.11	3.53	122 51 6	-3 15 31
30.....	9.60	3.45	123 3 10	-2 32 37
31.....	9.51	2.66	123 7 3	-2 40 31
32.....	8.25	3.28	123 10 36	0 28 16
33.....	10.67	3.33	123 19 38	-3 28 50
34.....	9.30	3.75	123 54 9	-2 7 3

表3-4. S型星のカタログ

No.	I	$V-I$	l	b
1	8 ^m .37	4 ^m .78	122° 20' 01"	1° 04' 06"
2	8.40	4.88	122 49 56	-2 39 09

表3-5. 観測領域内で検出されたM型星の各サブクラス毎の総数ならびに単位平方度当りの星数.

	スペクトル型									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M6.5	M7	M8	M9
総数	156	181	143	82	47	35	45	26	6	1
星数/° ²	4.05	4.70	3.72	2.13	1.27	0.91	1.17	0.68	0.16	0.03

3-6. 星間吸収

$A_E = 1.1 E_{V-E}$ (ここで A_E は E バンドでの星間吸収, E_{V-E} は色超過) の関係式を用いて, 表3-2のM型巨星の色超過から 観測領域での星間吸収を求めることができる。M型巨星の各サブクラス毎の固有有色指数 ($V-E$) は Blanco (1964) によって与えられている。彼のその値によると, 今回のスペクトル分類の±1サブクラスの誤差は, 固有有色指数の見積り誤差, 早期M型巨星では0.4等 晩期M型巨星ではそれ以上に相当する。このように大きな誤差は空間分布解析に重大な影響を与えるので, 太陽からの距離の関数として A_E を求めるに当たり, Neckel (1967), Deutschman et al. (1976), Becker and Fenkart (1971) により与えられた早期型星と散開星団の星間吸収のデータを採用した。

観測領域内で場所による星間吸収の違いが大きいので 太陽からの距離の関数として星間吸収のデータに適合させた回帰曲線からの分散が最小になるように 観測領域を4つに分割した。図3-2はそれらの4つの領域を示す。尚, 領域番号1から4は図3-3の番号に対応している。図3-2の大きな円は今回, M, C, S型星が掃索された観測領域を示す。

$A_V = 3.0 E_{B-V}$ と $A_E = 0.5 A_V$ (A_V は実領域での星間吸収量) の関係式を用いて, 図3-3に A_E のデータを記した。異なる著者によって求められた同じ天体のデータは独立に記された。曲線はそれらのデータに対する回帰曲線である。得られた A_E と r (単位 kpc) の関係式は図中に示されている。領域3と4は他の領域より星間吸収量が大まいが, Palomar Observatory Sky Surveyの写真や, 我々の V -写真の上でもこの領域が不透明であることを示しており, 暗黒星雲がこの領域を覆っている。

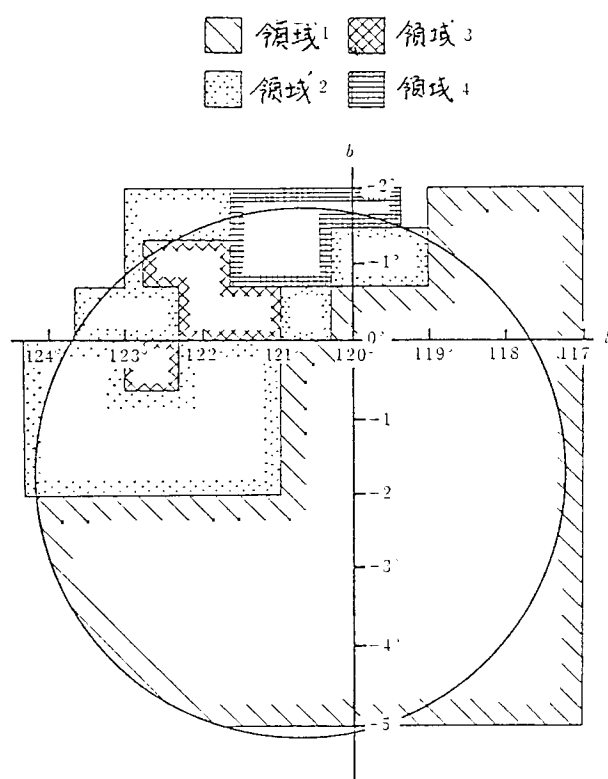


図3-2. 観測領域。大円は, M, C, S型星が探索された領域を示す。座標は銀河座標である。4つの斜線, 点描領域は, 星間吸収のデータを用いた領域である。領域番号は図3-3の番号に対応している。

図3-3は, 太陽より3 kpcまでの星間吸収量を得るのに十分なデータがあることを示しているが, そこまでの星間吸収曲線を5 kpcより遠方まで外挿するのはいづれも不明瞭であろう。McCuskey and Houk (1964) は, 今回の我々の観測領域に近い $l = 126^{\circ}5$ から $131^{\circ}5$ $b = -4^{\circ}$ から $+1^{\circ}$ にあるOB型星の色超過を用いて星間吸収物質について調べている。その結果によると, $b = -1^{\circ}$ と 0° の間では太陽より2 kpcから6 kpcまで

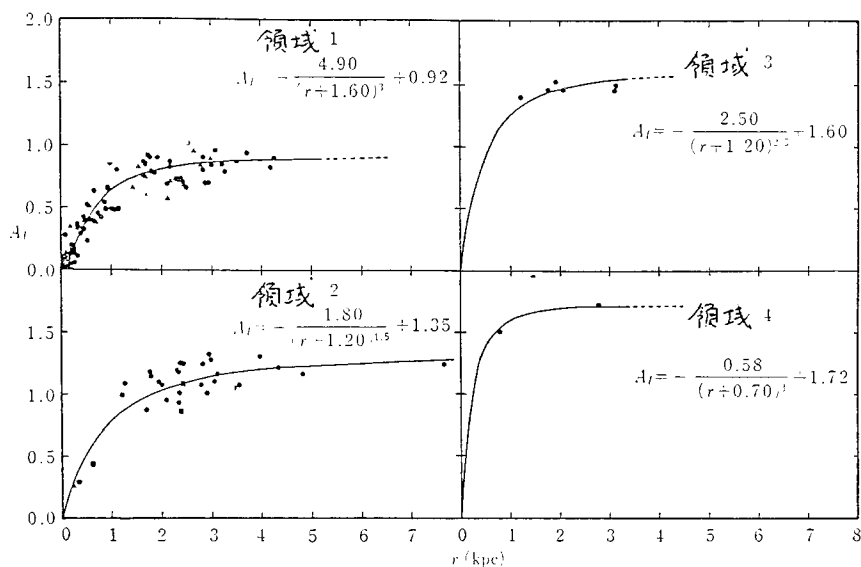


図3-3. 太陽からの距離 r の関数としての星間吸収。横軸は太陽からの距離, 縦軸は近赤外波長域での星間吸収量(単位等級) 領域番号は図3-2の番号に対応する。黒丸, 三角形, 正方形はそれぞれ Neckel (1967), Deutchman et. al. (1976), Becker and Fenkart (1971) のデータを示す。曲線はそれらのデータに適合する回帰曲線である。得られた A_V と r の関係式は図中に示されている。

$b = -4^\circ$ と -1° の間では 8~10 kpc まで星間吸収の増加がわすかであることを示している。そして彼らは, 不規則に吸収の様子がかわるはまりした。しかし比較的厚みの薄い暗黒星雲が, かなり太陽の近く銀河面に集中しているが, 2 kpc より遠方では A_V の増加があまりないと結論している。従って 彼らの結果と図3-3の類似から, 外挿がかなり確かであると思われる。

3-7 空間分布解析

3-7-1 太陽からの距離についての空間分布。

表3-2のすべてのM型星の 太陽からの距離の関数としての空間密度

の変化を調べるために, Eddington (1913) と Trumpler and Weaver (1953) の空間分布解析の方法を改良した。 x を真の距離引数 $x = m_I - M_I$ と定義し, x と $x+dx$ の間にある星の数を $T(x)$, 見かけの距離引数 $x_0 = m_I - \langle M_I \rangle$ を持ち, x と $x+dx$ の間にある星の数を $W(x)$ とする。ここで m_I は表 3-2 にある見かけの I 等級である。 Eddington (1913) と Trumpler and Weaver (1953) によると

$$T(x) = W(x) - (\sigma^2/2) W''(x)$$

と表わされる。この関係式において, 各スペクトル型の星は, 平均の絶対等級 $\langle M_I \rangle$ とその分散 σ を持つガウス誤差分布に従う絶対等級を持つと仮定されている。 $T(x)$ はここでの解析のために用いられる関数であり, $W(x)$ は表 3-2 より得られる観測値である

$W(x)$ を求めるために, $x \pm \Delta x$ の範囲にある星の数を平均した。 Δx の値は各スペクトル型の星数に従って 0.25 等から 0.4 等の間の値を選んだ。 $x \pm 2\sigma$ の範囲はいくつかに分割され, 各間隔にある平均の星数が載められた。 $W''(x)$ を決めるために, その平均の星数を x に対してプロットし最小自乗法により滑らかな多項式の回帰曲線を得た。最小自乗法の解を計算するに当たり, 次の AIC の値を基準にした (Akaike 1973, 1974)

$$AIC = n \log \delta_m^2 + 2m$$

この式において δ_m^2 は観測値 $W(x)$ の回帰曲線からの分散であり, m と n はそれぞれ回帰曲線の次数, データの数である。ここでは n の値は各 M 型サブクラス毎に適切に決められた間隔の数である。観測値に最適な回帰曲線の次数は, AIC を最も小さくするものである。最小の AIC を持つ多項式の次数は, 0 次から 2 次の間で探された。こうして計算された $T(x)$

を 10^6 pc^3 当たりの星の数 $D(r)$ に次の関係式を用いて変換した。

$$D(r) = T(x) / (0.140 r^3 s)$$

ここで r (単位 kpc) は太陽からの距離, s は観測領域の面積, すなわち 38.5 平方度である。 $T(x)$ を計算する前に 図3-3 に示した星間吸収曲線を用いて, 表3-2 のそれぞれの星について星間吸収の補正をした。

単位空間体積当たりの平均絶対等級は, Malmquist の補正 k_m を用いて, 与えられた見かけの等級の絶対等級に変換されなければならない。 $D(r)$ に対応する平均距離 $\langle r \rangle$ は次式によって得られる。

$$\langle r \rangle = \exp [0.2(m_E - \langle M_E \rangle + 5 + k_m + 0.1 \alpha^2 \ln 10) \ln 10]$$

ここで $k_m = \alpha^2 A'(m) / A(m) \ln 10$, $A(m)$ は見かけの等級が m と $m + dm$ の間にある星の数である。 $A(m)$ と $A'(m)$ を得るために, $W(\alpha)$ を計算した方法と同じ方法を用いて, 回歸曲線が求められた。 この場合, 最適な多項式は, 0 次と 1 次のうちから選ばれた。

空間密度は, 200 pc 毎に計算された。 表2-1 の第3列によると, 今回のスペクトル分類のエラー ϵ は E バンドでの絶対等級の見積りに約 0.4 等足らずの誤差を生む。 2-3 章で述べたように絶対等級固有の分散は無視できるので, 空間分布解析に用いる絶対等級の分散は, 主にスペクトル分類のエラーにより生ずる。 そこで解析には $\sigma = 0.4$ 等を用いた。 また変光の絶対等級への影響 (2-3 章) はよく分かっていないので, $M 6.5$ より晩期の M 型星の分散として 0.4 等と 0.6 等の 2 つの場合について調べた。 採用された単位空間体積当たりの平均絶対等級は 表2-1 の第4列と第5列に与えられている。 図3-4 は, Mikami (1978) による絶対等級の値と分散 $\sigma = 0.4$ 等の場合の各サブクラス毎の空間分布解析の結果である。

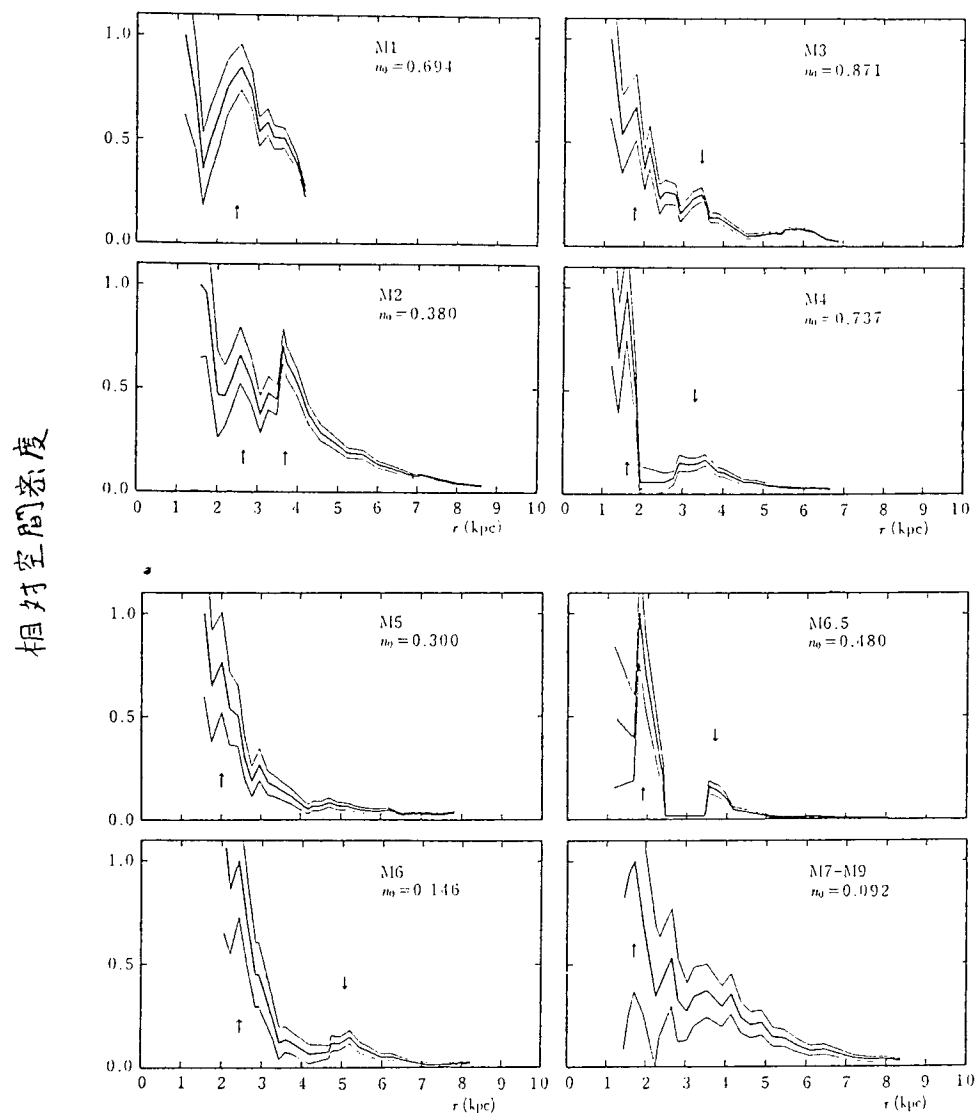


図3-4 太陽からの距離 r の関数としての各サブクラス毎M型巨星の空間分布。太い線は空間分布の変化, 細い線は標準偏差の2倍の誤差域を示す。空間密度は, 図中に与えられた 10^6 pc^3 当たりの星数 n_0 で規格化されている。この空間分布解析に用いられた星数は表3-5に与えられている。ここで採用された絶対等級 M_E は Mikami (1978) の実視絶対等級を基に得られたもので, 表2-1の第4列に示されている。絶対等級の分散は $\sigma = 0.4$ 等が採用された。図中の矢印は, パルセウス腕と α -腕に対応すると思われる盛り上りの位置を示す。

M6.5 - M9 の $\rho = 0.6$ 等の場合の結果は図3-5に示されている。M1とM2型巨星の Wilson (1976) による 実視絶対等級から求めた M_E は, Mikami (1978) のそれから求めた値よりも 0.6 等級暗い (表2-1) ので, Wilson (1976) の値の場合についても空間分布を求め, 図3-6に示した。

空間密度は 図中の 10^6pc^3 当たりの星数 n_0 で規格化されている。これらの図で 太い線は空間密度を示し 細い線は空間密度の標準偏差の2倍の誤差域を示す。その誤差は, 各距離区間の数の中にある星数の平方根誤差のみを基にしている。空間分布解析に用いられた各サブウラス毎の星の数は表3-5に与えられている。M7, 8, 9型星の数は非常に少ないので, それらをひとつのグループとして取り扱い, 絶対等級は $M_E = -4.2$ を用いた。今回のM型星の検出の限界距離はサブウラスによって異なるので (図3-4, 5), すべての星を一緒にした空間分布を求めることはしなかった。

3-7-2 Z-分布

M型巨星の円盤の厚みを調べるために, これらの星のZ-分布を求めた。表2-1の Mikami (1978) の絶対等級に基づく M_E を用いて, 表3-2の個々のM型星の太陽からの距離と銀河面からの距離を, 距離区間関係式と図3-3に与えられた空間吸収の式から求めた。こうして銀河面からある距離内にある星数からその距離での空間密度を得た。用いたM型星は, 太陽より 1.5 kpc と 4 kpc の間にあるすべての星である。図3-7に, すべてのサブウラスの星を一緒にした結果を示す。星数の平方根誤差に基づく標準偏差の2倍の誤差棒も図中に示した。

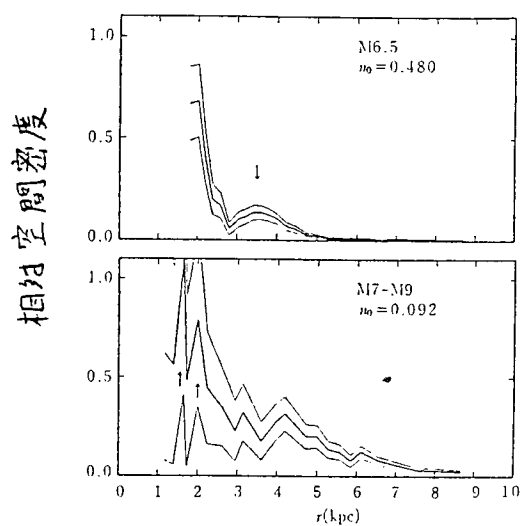


図3-5。 $n = 0.6$ 等の場合のM6.5, M7-M9型巨星の空間分布。絶対等級は図3-4の場合と同じものを用いた。縦軸, 横軸, 記号は図3-4と同じである。

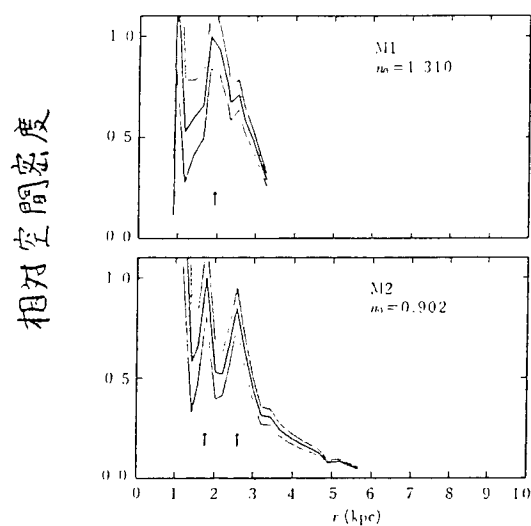


図3-6. Wilson (1976)の実視絶対等級に基づくM1を用いた場合のM1とM2型巨星の空間分布。縦軸, 横軸, 記号は図3-4と同じである。

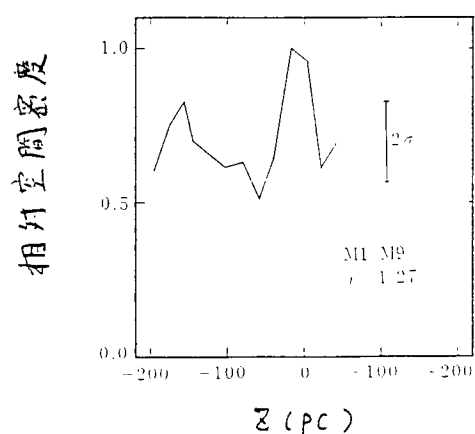


図3-7 太陽より1.5 kpcと4 kpcの間にあるM型巨星のz-分布。横軸は銀河面からの距離(単位 pc) 縦軸は 10^6 pc^3 当たりの星数 n_0 で規格化された相対的な空間密度。誤差棒は標準偏差の2倍の誤差域を示す。

3-8 議論

図3-4にはペルセウス腕のある太陽より2 kpc 近くに早期M型巨星の空間密度の盛り上がりが見える。渦状腕の内外に均質に分布するグループとされている晩期M型巨星のいくつかのサブクラスも同じ特徴を示している。個々の誤差域の中に埋もれてしまうようなあまり顕著でない空間密度の盛り上がりもあるが、M6.5のグループは太陽より1.8 kpcの場所にはっきりした盛り上がりが見られる。盛り上がりの場所は図中に矢印で示されている。

図3-4には他にいくつかの興味ある銀河構造の特徴が見られる。いくつかのサブクラスの星は、太陽より約4 kpcの場所にも別の弱い空間密度の盛り上がりが見られる。尚、これらの場所にも矢印を付しておいた。表3-2でコロニヤセミコロンの付いたスペクトル分類の不確かな星を除いても、図3-4に見られる特徴は少し不明瞭になるだけでほとんど変化はない。図3-5に見られるように $b=0.6$ 等のより大きな分散を用いると、図3-4のM6.5-M9型星の空間分布の様子が変えるが、2 kpcあるいは4 kpc付近の星の集中は消えない。Wilson (1976) の実視絶対等級を用いた場合、図3-6に見られるように、約2 kpcと4 kpcにある空間密度の盛り上がりは太陽の方向に約1 kpc近づく。

比較のために、McCuskey and Houk (1964) によって得られた $l=129^\circ$, $b=-2^\circ$ 付近、15.5平方度の領域内にある159個のOB型星の空間分布を見るのは興味深い(図3-8)。彼らの観測領域は、銀経で 8° 程我々とずれているが、銀緯では我々の観測領域とほとんど同じである。OB型星の大部分は太陽より1 kpcと3 kpcの間に集中しており、その方向でのペルセウス腕をはっきり描いている。Martin (1972) は $l=117^\circ$ の方向で254個のOB型星の分布を調べている。2 kpc付近の空間密度の極大に

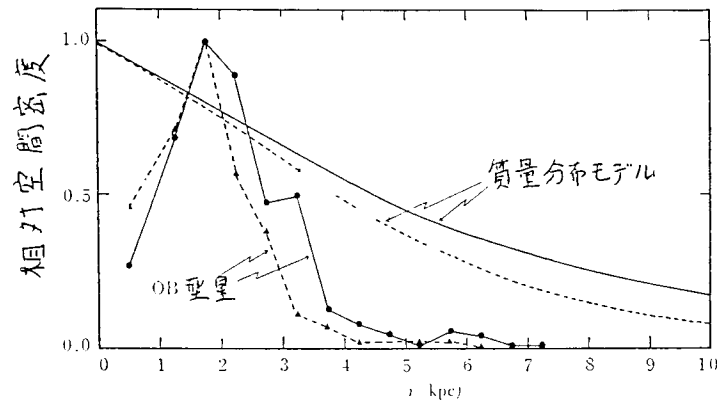


図3-8。太陽からの距離 r (単位 kpc) の関数としてのOB型星の空間分布と銀河系の質量分布モデル。OB型星の空間分布を示す実線と破線はそれぞれ2通りの解析方法の結果である [McCuskey and Houk (1964) を見よ]。空間密度は、実線の場合 10^6 pc^3 当たり 368 星数、破線の場合、6.49 星数で規格化されている。銀河系の質量分布モデルは Miyamoto and Nagai (1975) に基づく。そのモデルを示す破線は Burton (1976) の式を用いて計算された、屈曲した星の円盤の場合の質量分布モデルを表わす。これらのモデルの質量密度は太陽近傍の値によって規格化されている。

加えて、4 kpc 付近にもOB型星の空間密度の集中が示されている。この集中は、Verschuur (1973) によって α -渦状腕と呼ばれたHIガスの分布とよく一致している。

図3-8に、今回の観測領域における Miyamoto and Nagai (1976) の質量分布モデルも示した。銀河系のHI-ガス層は、太陽軌道の外側の領域で、銀河面の上下に屈曲していると言われている。銀経正の方向に見かけ上最も曲がって見えるのは $l=120^\circ$ 付近の方向である。もし星の円盤もHI-ガス層のように $l=120^\circ$ の方向で屈曲していると、質量分布は変わる。Burton (1976) の式を用いて計算した屈曲を持つ星の円盤のモデルも図3

-8に示した。

図3-4, 5, 6と図3-8の比較から M型巨星のいくつかのサブクラスは2組の星のグループから成っていることが示唆される。ひとつ組はOB型星のように渦状腕天体のグループであり、他のひとつ組は Miyamoto and Nagai (1975) の質量分布モデルで表現されるような古い円盤種族である。太陽より約2 kpcと4 kpc付近にあるM型巨星の空間密度の盛り上がりは、それぞれバルセウス腕と α -腕に対応するものと思われる。絶対等級の不正確さのため(Mikami 1978; Wilson 1976), M型星のサブクラスの間での盛り上りの位置のわずかな違い、またOB型星やH_{II}-ガス腕との位置の違いの理由についてはここで議論はできない。

McCuskey and Houk (1964)によると、OB型星によって作られているバルセウス腕の全半値厚は、太陽より2 kpcの所で150 pc 足らずである。図3-7は集団を成す傾向を持つM型巨星の2組のグループが存在していることを示している。ひとつ組は強く銀河面に集中するグループであり、他のひとつ組は $Z = -170$ pc 付近に集中しているものである。これらのグループに属するM1とM2型星は太陽より15 kpcと4 kpcの範囲に広く分布している。星の数が少なく確かなことは言えないが、同じくこれらのグループに属するM3とそれより晩期の星は、主にバルセウス腕に集中している星と同じ星のようである。Wilson (1976)の絶対等級を用いても Z -分布のそれらの特徴はかわらない。

今回用いられた絶対等級は光度階級IIIのものである。もしバルセウス腕に集中しているM型星が光度階級IIあるいはIであると仮定すると、密度の山が2 kpc近傍から5 kpcあるいは10 kpcより遠方に移動する。空間密度も減少するが、太陽近傍の明るいM型星の空間密度と比較すると、それでも大きすぎる。Dodd (1974) は α -渦状腕内の星を見つけるため
(るのでそれはあり得ない。

に、三色測光によって選んだ $l = 140^\circ$ 付近にある星の固有運動を解析した。強い星間吸収を受けた早期型星が α -腕の距離にあることの他に、K0とM5型の間にある巨星のグループが2ヶ所に顕著に存在しているようである。すなわちバルセウス腕と α -腕近くの太陽より約2.2 kpcと約3.6 kpcの2ヶ所である。後はこれらのグループが超巨星から成っている可能性について考察したが、もしそうであるならば、同じ星間吸収量ではそのグループの距離が20 kpcを越えてしまうことからその可能性を否定した。

以上の結果は広く受けいれられてきた考え、すなわちM型巨星は、渦状腕の内外に一様に分布していてOB型星のように強い銀河面集中を示さない古い円盤種族Iの星である(Allen 1973)ということに矛盾している。以下 渦状腕に集中しているM型巨星の性質について論ずる。

Schweizer (1976) と Strom et al. (1976) は、いくつかのうずまき銀河の基盤を成す円盤に広い渦状模様を見つけた。彼らは、それらの模様がない円盤種族の表面質量密度の変化を表わしているという証拠を示した。図3-4に見られるM型巨星の空間密度の盛り上かりの大きさは、彼らによって示されたものと同じかあるいはそれ以上であるが、幅ははるかに狭い。図3-7に見られるM型巨星の集団を成す傾向と銀河面集中の様子から考えても、M型巨星の盛り上かりの主な原因は星の円盤の密度波ではないであろう。

Tsuji (1978) と Kodaira et al (1979) は モデル大気を基礎に、M型巨星の有効温度を見積った。彼らの結果は 以前 Johnson (1966) 等によって言われていた有効温度よりも約300°K高い。

Stothers and Chin (1977) は 7~60 M_\odot にわたる質量を持つ星のモデルの進化を調べた。Tsuji (1978) と Kodaira et al. (1979) によるM型巨星の有効温度の高い方への改訂と Stothers and Chin (1977) によ

る大質量星の光度と有効温度の低い方への改訂の結果, Stothers and Chin (1977)によって計算された(水素, 重元素)量(0.71, 0.04)を持つ約7 M_{\odot} の星の漸近巨星枝が, Tsuji (1978)によって与えられたM型巨星の光度-有効温度系列にちょうど重なる。その(水素, 重元素)量は極端な種族Iのものに対応している。このことは約7 M_{\odot} を持つ極端な種族Iの星の進化列は, 赤色巨星枝において光度階級IIIのM型列を通ることを意味している。7 M_{\odot} の星の漸近巨星枝での寿命は主系列での約10分の1あるいは2である(Stothers and Chin 1977)。それ故, B型主系列から進化した約5~10 M_{\odot} を持つ多くの星がM型巨星枝に来るのが渦状腕の中で見られるはずである。このことは, 平均約 2.5×10^7 年と 6.3×10^7 年の年齢を持つ散開星団に属するいくつかのM型巨星の存在からも支持される(Harris 1976)。

Farnsworth and McCuskey (1955)は $l=129^{\circ}$, $b=-2^{\circ}$ の方向でB型星の空間密度を得た。彼らは太陽より2 kpc付近でその空間密度が 10^6 pc^3 当たり約15星数であることを示した。ただしその距離での彼らの観測の完全性は疑わしい。同じ距離におけるM型巨星の空間密度の我々の結果は 10^6 pc^3 当たり約3星数である。小質量M型巨星と大質量M型巨星の混合が, ハルセウス腕や, α -腕にありそうである。前者の平均質量は, Neckel (1975)や, Scalo et al (1978)によって与えられているように約13 M_{\odot} であり, 後者の平均質量は約7 M_{\odot} 程である。そしてそれらの種族の星はHR図上M型巨星枝でほぼ同じ光度, 有効温度を持つ。しかし若い散開星団中のM型巨星の数は比較的少ないようであり, 晩期M型星は見つかっていない(Harris 1976)。晩期M型巨星の空間分布解析は少ない数の星に基づいており, 図3-4に見られる晩期M型巨星の空間分布の盛り上がり様子は早期M型星のものより信頼性は少ない。渦状腕へのM型

巨星の集中に占める大質量星の寄与の割合を今回の研究では調べる事ができなかった。しかし我々の結果は、M型巨星が2組のグループ、すなわち1組は2つの渦状腕に集中している渦状腕天体、他のひと組は古い円盤種族の星から成っていることを十分に示唆している。

第4章 銀河系の古い円盤の屈曲

4-1 研究の動機と目的

銀河系の太陽より外側の領域でH Iガスの層が屈曲していると言われて
いる(Westerhout 1957; Kerr 1969; Verschuur 1975; Burton
1976等)。銀河座標の第1, 第2象限で銀緯の正の方向に, また第3, 第
4象限では負の方向に曲がっている。

その屈曲現象を引き起こす機構については Abramenko (1978) や Binney
(1978) によって要約されているように, いろいろ提案されたがどれも完全
に説明し切れてない。もし屈曲が重力によって引き起されているならば星
とガスの両方の円盤にその影響が現われるはずであり(Lynden-Bell 1965;
Hunter and Toomre 1969; Binney 1978, Bertin and Mark 1980),
一方それが磁力あるいはガス圧のようなものによるならばガスの円盤のみ影
響を受けているはずである(Kahn and Woltjer 1959)。横向き銀河
のH Iガス円盤に関する新しい観測結果(Sancisi 1978, Weliachew et
al. 1978)に関連させて, Tubbs and Sanders (1979) はほぼ球状のポ
テンシャル領域の中で屈曲させられたガス円盤を維持する機構を示唆した。
Yoshii and Fujimoto (1981) は孤立銀河のH Iガス円盤の屈曲現象は微
分回転している銀河円盤とハローのガスとの流体力学的な相互作用に因る
ということを提案した。

どの機構が実際に屈曲現象の原因であるかを知らるために, 銀河系での星
の円盤の観測は非常に興味深い。Graham (1970a, b) は竜骨座の方向
のOB型星の円盤がH Iガスの円盤と同じ方向, すなわち負の銀緯方向に銀
河面からずれていることを見つけた。しかしこれらの若いOB型星が屈曲
したガス円盤の中で生まれたものであれば, そのOB型星の円盤のずれは理

解され得る。またいくつかのOB型星渦状腕がいくらか不規則に銀河面の上下に逸脱しているようにOB型星の円盤はすべてが銀河面にあるわけではないので、もっと古い星の円盤についての情報が必要である。

2-2章で述べたように晩期M型巨星の大半は数十億年の年齢を持つ古い円盤を代表する比較的古い種族の星であると見なせる。一方若く大質量のM型巨星の混合も渦状腕内で示唆されているが(3-8章)、その影響については後述する。その古い星の円盤の屈曲については全く知られていないので第2章で述べた特徴を持つM型巨星は銀河系の外側の領域での古い星の円盤の振舞いについて研究するには格好の星のグループである。ここではHIガス円盤が太陽から見て銀河面から最も逸脱して見えるカシオペア領域で晩期M型巨星の表面密度分布を銀緯の関数として観測から求め古い星の円盤の屈曲現象について調べる

4-2 観測

観測領域は $l = 116^\circ$ 付近 $b = -11^\circ$ から 10° の間の 130 平方度であり図4-1に示すように4つの領域から成っている。第3章の観測と同じ観測機械、方法を用いてその領域で幅付けされないスパクトル写真を得た。ここではEN乾板の増感に硝酸銀溶液が使われた。4つのそれぞれの領域で複数枚のスパクトル写真が得られたが、解析にはそれぞれ最も良質の写真1枚が用いられた。それらの写真のデータを写真番号の先頭にO文字を付けて表4-1に示す

スパクトル写真上でのM型星の検出の限界等級と検出された星の色超過を調べるため同じシュミット望遠鏡でRとIバンド測光用写真も得られた。これらの写真については、大文字Sを写真番号に付して表4-1に示してある。

表4-1 用いた写真

領域	写真番号*	観測日 年 月 日	乾板	フィルター	露出時間 (分)	アソズ4 傾角方向
領域 1	S-767	1979 12 20	103aF	R66	30	—
	S-768	12 20	103aF	R66	30	—
	S-753	12 16	IN	R68	30	—
	S-769	12 20	IN	R68	30	—
	O-118	12 20	IN ⁺	R68	40	西
領域 2	S-579	1978 11 4	103aF	R66	30, 3 ^{**}	—
	S-588	11 9	103aF	R66	3	—
	S-577	11 4	IN	R68	30, 3 ^{**}	—
	S-578	11 4	IN	R68	30, 3 ^{**}	—
	O-63	11 24	IN ⁺	R68	40	北
領域 3	S-616	12 6	103aF	R66	30, 3 ^{**}	—
	S-619	12 7	103aF	R66	30	—
	S-623	12 7	103aF	R66	30, 3 ^{**}	—
	S-612	12 5	IN	R68	20	—
	S-620	12 7	IN	R68	30	—
	S-624	12 7	IN	R68	29, 3 ^{**}	—
	O-65	11 24	IN ⁺	R68	35	北
領域 4	S-760	1979 12 18	103aF	R66	30	—
	S-762	12 18	103aF	R66	3	—
	S-771	12 20	103aF	R66	30	—
	S-752	12 16	IN	R68	31	—
	S-770	12 20	IN	R68	30	—
	O-120	11 20	IN ⁺	R68	40	西

* 写真番号に付けられた大文字 S, O はそれぞれ直接写真 スペクトル写真を示す

+ 硝酸銀溶液で増感された乾板

** 二重露出の写真

M型星の変光の影響を避けるためにそれぞれの領域でのスペクトル写真と直接写真は1ヶ月以内に撮影された。

図4-1 観測領域。領域1

から4の中でM型星を探索した。

座標は銀河座標で示してある。

斜線を引いた4つの領域A, B, C,

Dは検出分類されたM型星の色

超過を調べた場所である

4-3 晩期M型巨星の表面分布。

観測領域内で Case システム

に基づきM型星の検出と分類を行

った。その結果、合計1544

個の晩期M型星(M5-M10)が検

出された。各銀緯毎の星数を表

4-2の第2列に示す。単位平

方度当たりの星数とその統計的誤

差はそれぞれ第3列、第4列に示

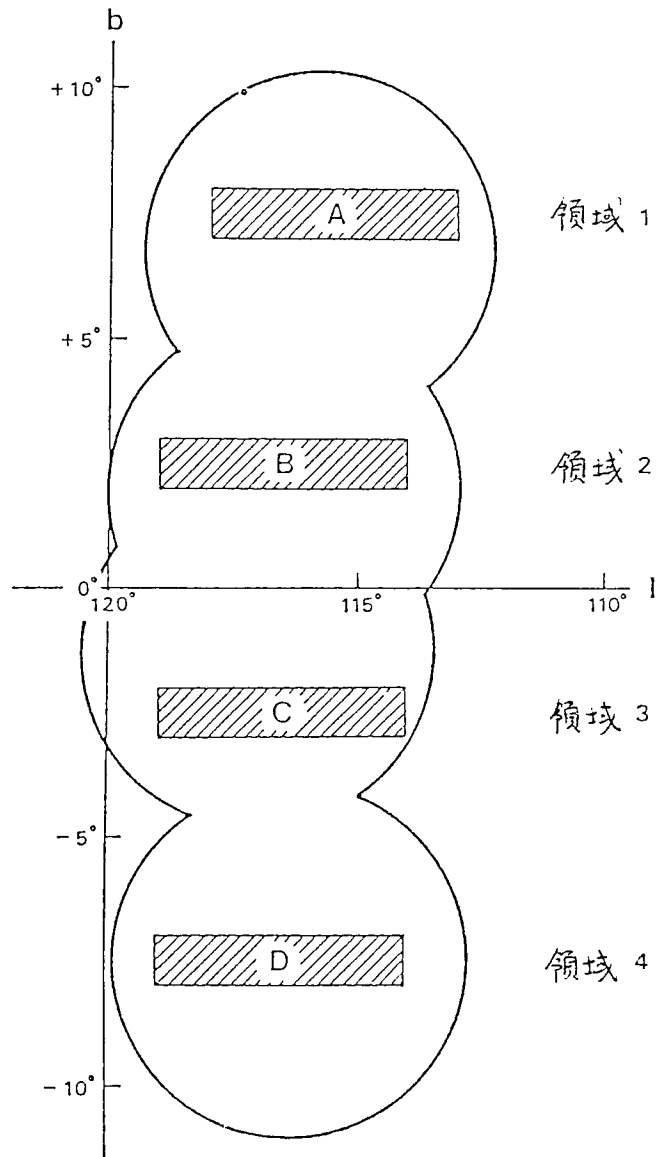
されている。図4-1の斜線領域A, B, C, D内のM型星は4-4章で述べるよ

うにその領域内での星間吸収を調べるため細分類された。早期M型星(M0

-M4)の検出は完全でない恐れがあることと検出の限界等級も晩期M型星

のそれよりも0.5等級明るいのでそれらの星は検出から除外された。

観測領域内にある散開星団NGC 7789, NGC 7790のメンバーの星を検出された晩期M型星の測光のための比較星として用いた。そのメン



バーの星の R , I 等級は 2-5 章で与えた関係式を使って Burbidge and Sandage (1958) (NGC 7789), Sandage (1958) (NGC 7790) による BV データと Becker and Fenkart (1978) の E_{B-V} の見積りから得られた。これら 2 つの散開星団それぞれから求めた回帰曲線に系統的な差は見られなかった。

スペクトル写真上での検出の限界等級を図 4-1 の A, B, C, D の領域内で見つけられた星の積算数を基に領域 1, 2, 3, 4 のそれぞれで調べた。ある等級より明るい星の積算数の増加率が非常に小さくなった時か、又は零になった時、その等級を限界等級と見なした。その結果、領域 1, 2, 3, 4 での限界等級はそれぞれ 12.8 等, 12.6 等, 12.4 等, 12.8 等である。尚、こうして求められた限界等級には最大 0.2 等の誤差が見込まれる。スペクトル写真上でのこのような限界等級の違いは主に背景の空の明るさや露出時間の違いによる。

検出された晩期 M 型星の相対的な表面分布を銀緯の関数として図 4-2 に示す。その表面数密度は領域 4 を除いて、共通視野の中に見つけられた M 型星の数の比を用いて規格化された。その規格化定数は、Miyamoto and Nagai (1975) の質量分布モデル（以下、宮本-永井モデルと略す）の場合の限界等級の違いによる表面密度の比とほとんど違わないことがわかった（4-5 章）。領域 3 と 4 の重複した領域は狭いので領域 4 のための規格化定数は、共通銀緯での宮本-永井モデルを用いて限界等級の差から求めた。一様分布モデルから求めた時の値との違いは約 10 % である。

第 3 章での議論から超巨星や明るい巨星の混合の影響は無視できるので図 4-2 に示した表面分布は巨星の分布を代表していると言える。

尚、測光のための測定は京都大学理学部宇宙物理学教室のアイリスフォトメータを用いてなされた。

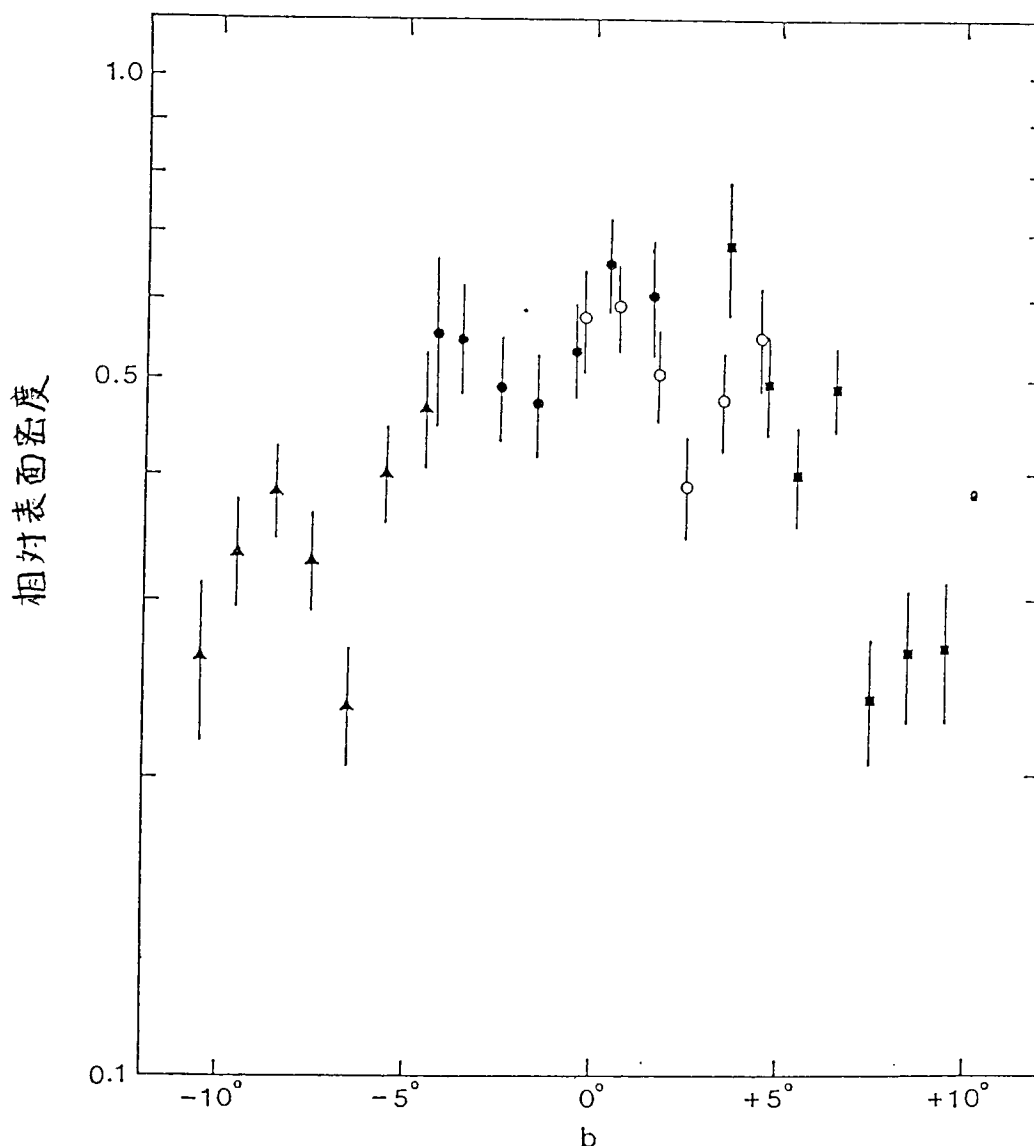


図4-2. 検出された晩期M型巨星の相対表面密度。横軸は銀経。

■, ○, ●, ▲はそれぞれ図4-1の領域1, 2, 3, 4での結果を表わす。

誤差棒は星数の平方根に基づく統計的誤差を表わす。

4-4 観測の限界距離

4-3章で述べた限界等級, 観測領域での星間吸収量, そしてIバンドでの晩期M型巨星の絶対等級を用いて今回の観測の限界距離が見積られる。

その絶対等級は表2-3に要約されている。検出された晩期M型星の85

%はM5-M6.5の星であり, またそれより晩期の星の絶対等級は不確かなので, M5-M6.5型巨星の平均の絶対等級 $M_E = -3.6$ 等級と全晩期M型巨星の平均の等級として採用した。

観測領域方向での星間吸収は Neckel and Klare (1980) によって太陽からの距離の関数として調べられている。しかし後々の研究は $l = 116^\circ$ 付近では $b = -7.5$ から $+7^\circ$ の間, そして太陽より 5 kpc 以内に限定されており 5 kpc より遠方の星はわずかしかなる。しかし限界距離を調べるためには 5 kpc より遠方の星間吸収について知らなければならない。それは図4-1の領域A,B,C,Dの中で検出されたM型巨星の色超過を用いて求められた。

表4-1に載せた直接写真を用いて $m_E = 11$ 等級より暗いM5とM6型星の色指数 $R-I$ を得た。表4-3の第2列にその平均の色指数を示す。第3列と第4列はそれぞれ平均の色指数の標準偏差と調べた星の数である。

今回用いた写真のRシステムはKronのシステムへの変換が難しいので(2-5章), 検出された晩期M型巨星のKronのシステムでの色指数の値が求められなかった。そこで今回の写真システムでの晩期M型巨星の固有の色指数を次のようにして見積った。図4-1の領域Dは Neckel and Klare (1980) の図6aの領域番号6と共通領域を持つ。その領域で後者は太陽より 3.2 kpc までの星間吸収を調べている。領域Dの銀緯は $b = -8^\circ$ と -7° の範囲にあり, これは銀河面よりかなり離れている。さらに屈曲したHIガス層は正の銀緯方向にある。それ故, 3.2 kpc より遠方の星間吸収は無視できると思われる。よって, 領域DでのM5とM6型巨星の平均の色指数 $\langle R-I \rangle = 0.39$ 等級が Neckel and Klare (1980) によって求められた 3.2 kpc での星間吸収量 $A_V = 0.8$ 等級に対応するものとし得る。こうして Van de Hulst の 15 番曲線に基づく関係式 $A_E =$

$0.5A_V$, $A_I = 2.4 E_{R-I}$ から固有の色指数が得られた。他の領域での A_I はその固有の色指数を用いて得られた。これらの値は表 4-3 の第 6 列に載せられている。第 5 列には Neckel and Klare (1980) の A_V の値から求めた $m_I = 11.0$ 等の星の距離を記す。

彼らの結果と比較すると領域 C で得られた A_I は 5 kpc 付近で星間吸収量が急に増加していることを示している。その量は $A_I = 1.6$ 等から 3.8 等になる。この領域にある $m_I = 11.0$ 等より暗い全晩期 M 型星の数は単位平方度当り約 5 星数である。宮本-永井モデルによれば、この星数は限界距離が 5 kpc から 6 kpc になった時の数に相当する。その事は 6 kpc 付近に厚い星間吸収物質があることを示唆している。検出された晩期 M 型巨星を用いて得られた Wolz 図もそのことを示している。それ故、領域 C での限界距離は約 6 kpc と思われる。領域 A と B には Neckel and Klare によって調べられた限界距離より遠方に強い星間吸収物質は見当らないので、表 4-3 の A_I の値から、これらの領域での限界距離を決めた。それぞれの領域で得られた限界距離 r_{lim} を表 4-3 の最後の列に示した。

表 4-3 星間吸収と限界等級

領域	$\langle R-I \rangle$ (等)	ρ (等)	N (個)	$r_{m=11}$ (kpc)	A_I (等)	r_{lim} (kpc)
A	0.74	0.53	14	5	1.2	11
B	1.13	0.78	27	4	2.1	7
C	1.83	0.74	18	5	3.8	6
D	0.39	0.35	30	7	0.4	16

4-5 銀河系の質量モデルとの比較

Mikami and Ishida (1981) によって求められた太陽近傍での晩期M型巨星の円盤の有効厚が宮本-永井モデルとほぼ同じであるので、その宮本-永井モデルを今回の観測結果と比較した。そのモデルから予想される表面密度分布を図4-4の実線で示す。Verschuur (1973) と Baker and Burton (1975) はHIガス層の屈曲の $b=0^\circ$ によって定義される銀河面からの平均の高さを与えている。図4-3は Baker and Burton (1975) の与えた式を用いて $l=116^\circ$ の方向でのHIガス円盤の様子を示したものである。Verschuur (1973) のモデルは彼らのものよりもっと顕著に屈曲している。

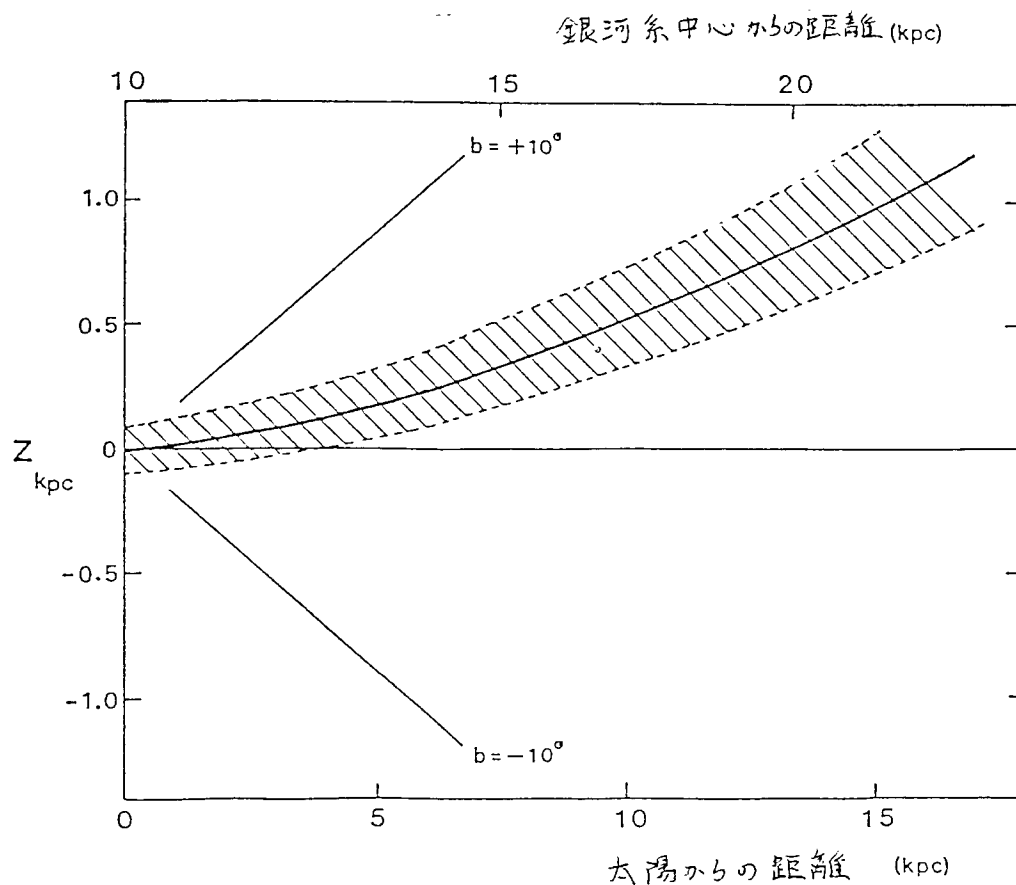


図4-3. Baker and Burton (1975) によって得られた $l=116^\circ$ の方向での屈曲したHIガス円盤の様子。縦軸は銀河面からの距離。斜線の領域は円盤の厚さを示す。

もし宮本-永井モデルで表わされる星の円盤が銀河系の外側の領域でH Iガス円盤と同じように曲がっているとすると、その表面密度の極大点が $b=0^\circ$ から正の銀緯方向に約 3° ずれる。その見かけの表面分布を Baker and Burton (1975) の屈曲モデルの場合について図4-4に破線で示す。

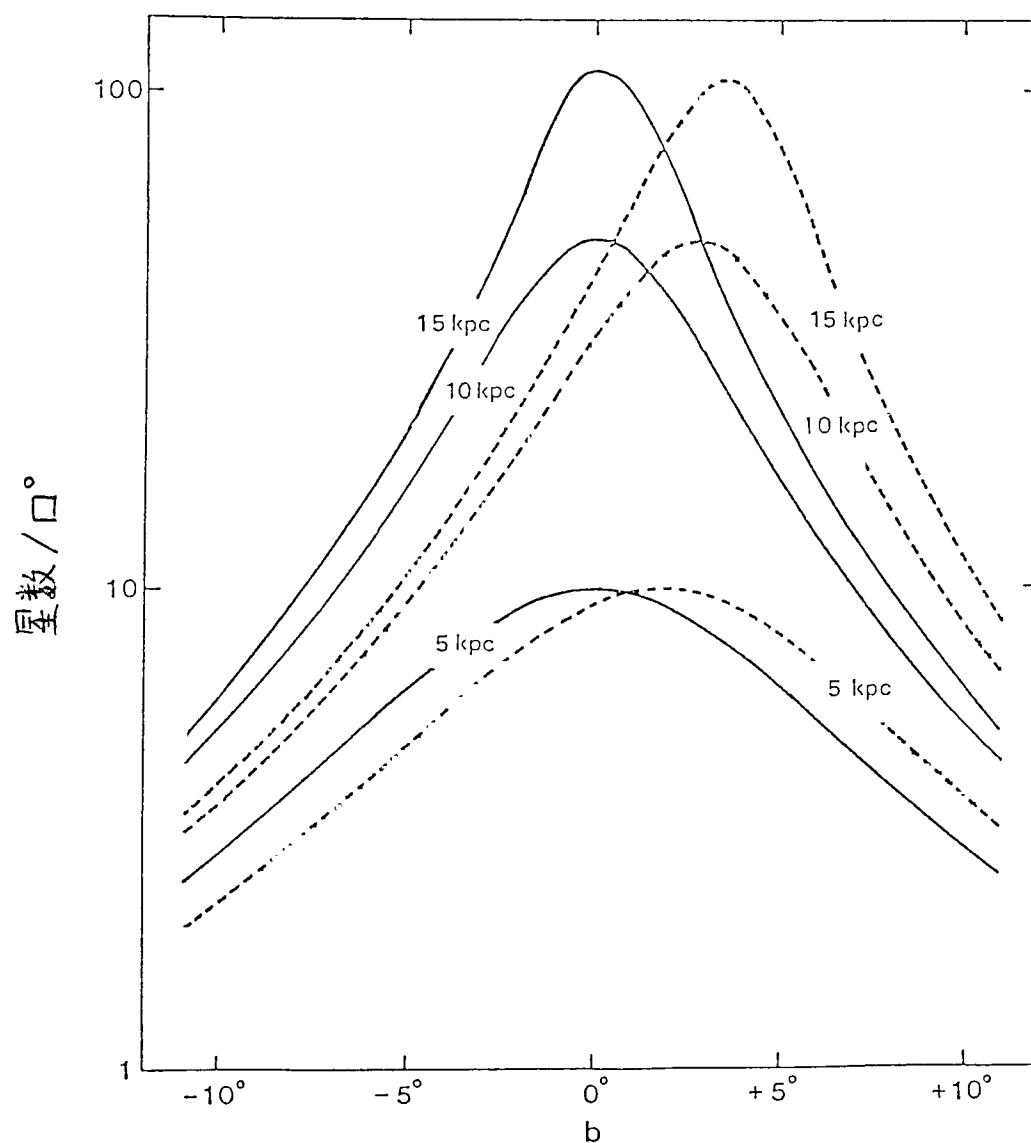


図4-4。 $l=116^\circ$ 付近の宮本-永井モデルによる表面密度分布モデル。 Baker and Burton (1975) によって得られたH Iガス円盤の屈曲と同じ屈曲を示す星の円盤の場合の表面密度分布を破線で示す。3組の曲線はそれぞれ太陽から5, 10, 15 kpc の限界距離を持つモデルである。

表4-2の観測された表面密度を図4-1の領域1, 2, 3, 4のそれぞれについて銀緯の関数として図4-5に図示する。4-4章で見積られた限界距離を持つ宮本-永井モデルを同じ図に重ねて示した。モデルには Mikami and Ishida (1981)の結果から太陽近傍での晩期M型巨星の空間密度、 $1.5 \text{ 星数}/10^6 \text{ pc}^3$ を採用した。

4-6 議論

図4-2に示された晩期M型巨星の相対表面分布は、銀河面 $b=0^\circ$ に関して対称である。図4-2を求めた時の規格化(4-3章)は採用される空間分布モデルに依存するか 図4-4との比較から、古い星の円盤にHIガス円盤のような屈曲現象が見られないことが示唆される。詳細は、観測された表面密度とモデルとを直接比較した図4-5に見られる。図4-5aの特徴のない様子は、恐らく銀河面近くの場所による変化の大きな空間吸収に因るものである。一方、 $|b| \geq 5^\circ$ の領域では空間吸収による影響は小さいと思われる。このことは表4-3に示した平均色指数の分散が小さいことから明らかである。図4-5bは観測された分布が星の円盤の屈曲モデルから顕著にそれていることを示している。太陽から10 kpc するわち銀河中心から22 kpcの所まで古い星の円盤の屈曲は検出されなかった。

この章では晩期M型巨星は数十億年の年齢を持つ比較的古い星と見なしてきたが、第3章で述べたように、数千万年の年齢を持つ若くて大質量のM型巨星の存在が示唆されている。しかし、その若いM型巨星の総数は古い円盤種族の星の総数に比べるとかなり少ないと思われ、たとえそのような若いM型巨星が存在したとしても、それらは屈曲したHIガス円盤の中で生まれたと考えられるので、図4-4の見かけの屈曲した様子をもっと顕著にするだけである。また、銀河系外側領域での屈曲したHIガス円盤の中で、若

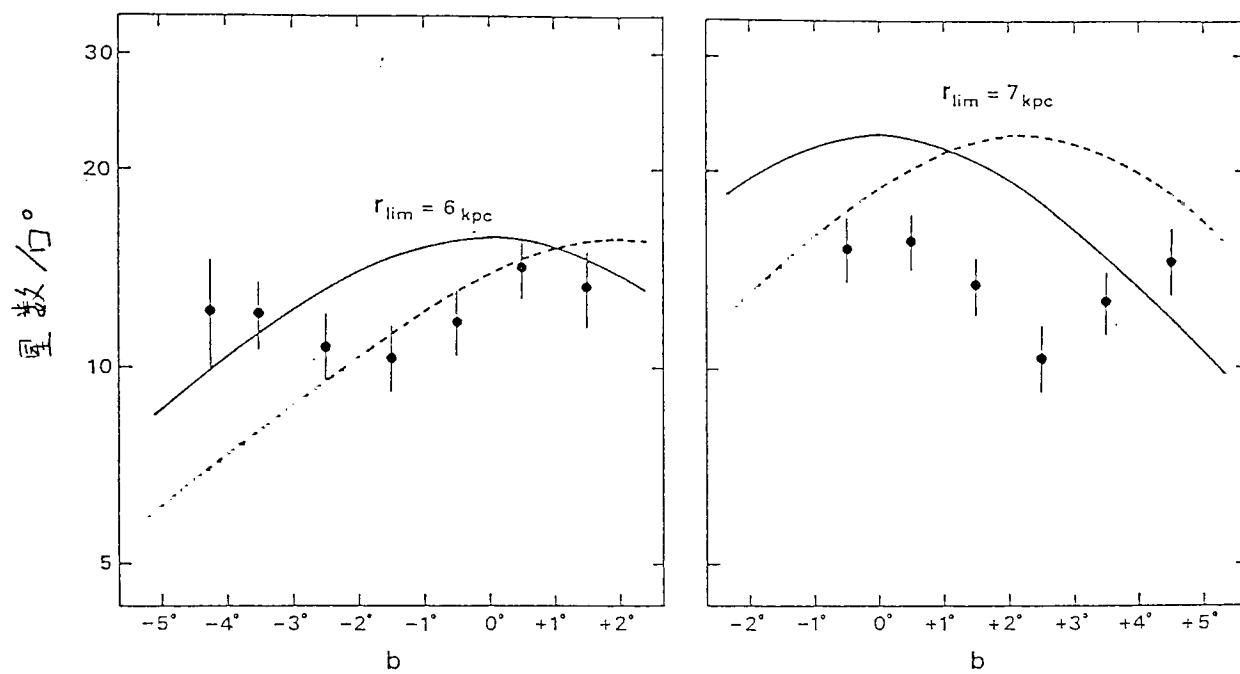


图 4-5 (a)

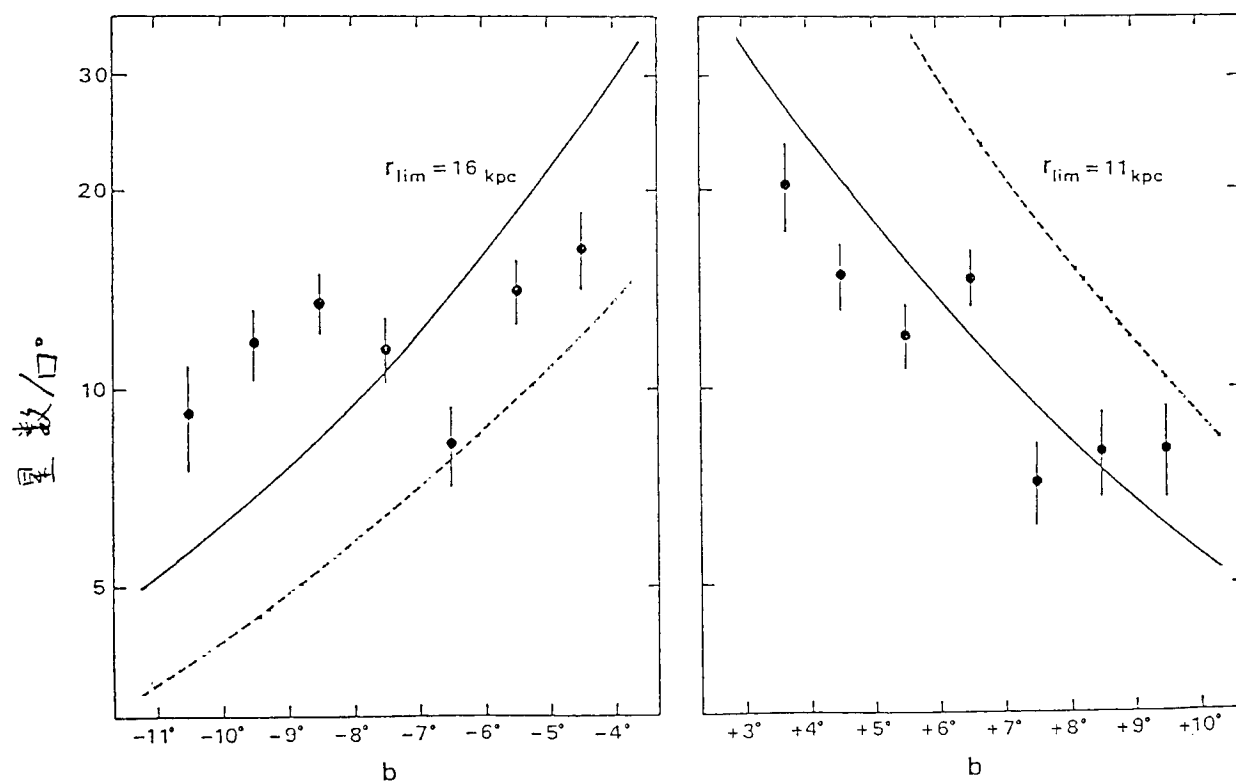


图 4-5 (b)

図4-5。 観測された晩期M型巨星の表面密度分布とモデルの比較。(a) $|b| \leq 5^\circ$ の領域について、(b) $|b| \geq 3^\circ$ の領域について。縦軸は単位平方度当たりの星数である。観測点は誤差棒と共に黒丸で示されている。実線は宮本-永井モデル、破線は Baker and Burton (1975) による屈曲モデルである。4-4章で求めたそれぞれのモデルの限界距離 Y_{lim} を図中に示す。

い天体、例えばOB型星は北天では見つかっていない。よって若いM型巨星の混合はここでの結論に影響はない。

Blitz (1979) と Blitz et al. (1980) は、銀河系中心から動径方向約18 kpc までの銀河系回転曲線を求めた。その回転速度は太陽軌道より外側の領域でわずかに増加しており Schmidt モデル (Schmidt 1965) や 宮本-永井モデルのものとは大きく違う。一方、Baker and Burton (1975) によって得られた HI ガス層の屈曲モデルはその Schmidt モデルを基にしている。従って図4-3 に示した屈曲モデルは新しい回転曲線を用いて修正が必要である。Nakano et al. (1981) は新しい回転曲線を用いてケフェウス-カシオペア領域で HI ガスの空間分布を再考察した。その結果 $l = 116^\circ$ の方向では図4-3 の屈曲の様に大きな違いのないことがわかった。

図4-5a は観測された密度が銀河面近く ($|b| \leq 3^\circ$) でモデルよりかなり小さな値であることを示している。その密度は Schmidt モデルよりもさらに小さい。この結果は銀河面付近の他の方向での観測による晩期M型巨星の空間分布 [Kirton and FitzGerald (1974), $l = 246^\circ$ の方向, Nandy and Smriglio (1976), $l = 138^\circ$; Nandy et al (1978), $l = 118^\circ$; Ichikawa (1981), $l = 121^\circ$] の結果と良い一致を示す。ただ

し $l=186^\circ$ での McCuskey (1969) の結果は Schmidt モデルによく一致する。一方, $|b| \geq 3^\circ$ での結果(図4-5b)は宮本-永井モデルとよく一致している。Mikami and Ishida (1981) によって得られた太陽近傍での晩期M型巨星の有効厚は宮本-永井モデルに近いことを考慮すると, 今回の我々の結果は, 太陽軌道外側領域での晩期M型巨星の有効厚は, 太陽近傍のそれよりも大きいことを示している。すなわち晩期M型巨星は太陽近傍よりももっと銀河面から分散していると思われる。

4-7 結論

数十億年の年齢を持つ晩期M型巨星によって代表される古い星の円盤はカシオペア方向で屈曲の徴候を示さない。この結果は 銀河系のHIガス円盤の屈曲が星に影響を及ぼさない機構によることを示唆している。太陽軌道の外側での晩期M型巨星の円盤の有効厚は 太陽近傍のものよりもかなり大きい。

第5章 銀河系中心方向での星間吸収表面分布

5-1 研究の動機と目的

星間吸収の少ない見通しの良い領域は銀河系の内部領域の研究に極めて有用である。バーデの窓 ($l \sim 0^\circ$, $b \sim -3^\circ$) は銀河系の中心バルジの研究に最も頻繁に利用されている (例えば Vanden Bergh 1968)。

しかし銀河系内部領域の円盤や渦状腕の構造を知るためには銀河面近くに新しい窓を見つける必要がある。

星間吸収物質の表面分布は暗黒星雲図上で見ることが出来る (Khavtasi 1960; Lynds 1968)。Neckel (1967), FitzGerald (1968) や Neckel and Klare (1980) 等は、明るい早期型星の色超過を用いて星間吸収の空間分布を調べた。しかしこれらの観測はすべて可視光でなされているのでその結果は太陽より $1 \sim 2$ kpc 以内に限定されている。

第2章で述べたように、M型巨星の近赤外波長域でのスペクトル掃天は銀河系中心方向かなり遠くまでの星間吸収について調べることに有効である。特に銀河系中心方向にある晩期M型巨星の大部分は数十億年の年齢を持つ比較的若い種族の星であると思われるので大きな有効厚みを持つ円盤内に均質に分布していることが期待され得る。このような晩期M型星を用いて銀経 351° から 10° , 銀緯 -2° と $+2^\circ$ の間の領域で星間吸収について調べた。尚, $354^\circ \leq l \leq 358^\circ$, $|b| \leq 2^\circ$ での詳しい研究については参考文献にある (Hamajima et al. 1981a, b)。

今回の研究には, $330^\circ \leq l \leq 30^\circ$, $|b| \leq 2^\circ$ の赤色巨星掃天観測計画で得られた写真を用いた。この掃天観測はホスカ天文台で現在進行中である (Ichikawa et al. 1981)。

5-2 観測

観測は1979年から1980年にかけてホスカ天文台の51/71/127cmのニュミット望遠鏡を用いてなされた。著者は1980年の観測を担当した。スペクトル写真も幅付けせずに頂角6°の対物プリズムを用いて得られた。大気Aバンドでのスペクトルの分散は 1870 \AA mm^{-1} である。硝酸銀増感したコダックE1乾板とショットR68フィルターを用い、波長6800 \AA から8800 \AA のスペクトル領域を持つ。この波長域はKronのIバンドに近いので以後それをIと呼ぶことにする。星像の重なりの影響を小さくするために同一領域での観測は分散の方向が異なる数枚の写真が得られるまでなされた。

I等級のための直接写真もスペクトル写真と同じ乾板、フィルターを用いて得られた。この写真はスペクトル写真の限界等級を定める。

$351^\circ \leq \ell \leq 10^\circ$, $|b| \leq 2^\circ$ の観測領域は6つの領域から成っており、それぞれの領域は隣りの領域と3°の間隔を持ち $5^\circ \times 5^\circ$ の広さを持つ(図5-1)。それぞれの領域でのスペクトル写真と直接写真は、晩期M型星の変光の影響を避けるため、1ヶ月以内に得られた。全部で32枚のスペクトル写真と22枚の直接写真が得られたが、今回の解析には良質の21枚の写真が用いられた。用いられた写真は表5-1に掲げてある。尚、著者は図5-1の領域4, 5, 6での観測を担当した。

5-3 晩期M型星の検出とその限界等級

表5-1に示されたスペクトル写真上でそれぞれ少なくとも2度M型星の探索をした。尚、スペクトル分類は2-4章で述べたCase システムを基にした。早期M型星(M0-M4)の検出は完全でない恐れがあることと、第3章で示されているように銀河系内部領域の局状腕内にあると思われる若い種族のM型星の混合の影響があり得るので、これらの星は解析から除外され

表5-1 用いた写真

領域の中心 (ϕ , b)	写真番号*	観測日 年 月 日	乾板	フィルター	露出時間 (分)	プリズム 頂角方向
領域 1 (353° , 0°)	P1004	1979 7 26	IN ⁺	RG8	30	南
	P1012	8 25	IN ⁺	RG8	30	西
	P1033	8 28	IN ⁺	RG8	7, 3**	西
領域 2 (356° , 0°)	P999	7 25	IN ⁺	RG8	35	南
	P1013	8 25	IN ⁺	RG8	10	西
	P1021	8 26	IN ⁺	RG8	20	西
	P1038	8 28	IN ⁺	RG8	7, 1.5**	西
	1707	8 21	IN	RG8	30	—
領域 3 (359° , 0°)	P990	7 21	IN ⁺	RG8	45	南
	P1020	8 26	IN ⁺	RG8	22	西
	P1034	8 28	IN ⁺	RG8	7, 1.5**	西
領域 4 (2° , 0°)	P1051	1980 5 15	IN ⁺	RG8	30	北
	P1058	5 16	IN ⁺	RG8	30	東
領域 5 (5° , 0°)	P1067	7 12	IN ⁺	RG8	35	東
	P1075	7 13	IN ⁺	RG8	30	南
	1895	7 7	IN	RG8	20	—
	1901	7 18	IN	RG8	20	—
領域 6 (8° , 0°)	P1081	8 1	IN ⁺	RG8	30	南
	P1093	8 4	IN ⁺	RG8	40	東
	1910	8 16	IN	RG8	20	—
	1911	8 16	IN	RG8	20	—

* 写真番号に付けられた大文字Pはスプロットル写真を意味する。

+ 硝酸銀溶液で増感された乾板

** 二重露出の写真

た。結局全部で2748の晩期M型星(M5-M10)が検出された。平均表面密度は1平方度当たり約37星数である。図5-1に 0.5×0.5 のそれぞれの領域内で検出された星数を示した。

領域2,3,5,6でのスペクトル写真の限界等級は, 4-4章で述べた方法に基づき検出された晩期M型星の積算数から求めた。この限界等級の誤差は最大 ± 0.2 等あると思われる。

I等級のための測光用比較星は, 2-5章の方法を用い, 3つの散開星団のUBVデータ, すなわちNGC 6405 (Antalovă 1972), NGC 6530 (Walker 1957), NGC 6531 (Hoag et al. 1961)と, Becker and Fenkart (1971)によるこれらの散開星団の色超過 E_{B-V} の見積りから求められた。これらの散開星団の位置を図5-1に円で示した。測光は東京天文台本曾観測所のアイリスフォトメータとボスカ天文台のマイクロフォトメータを用いてなされた。著者はボスカ天文台にて領域4,5,6の測光を担当した。

測光比較星のない領域1と4の限界等級は隣り合う領域との共通部分に検出された晩期M型星の数の比から決められた。このようにして得られた領域1から6までの限界等級は12.0等と12.6等内にあり 表5-2にその結果を示す

表5-2. 図5-1に示されたそれぞれの領域内のスペクトル掃天の限界等級, m_{lim}

領域	1	2	3	4	5	6
$m_{lim}(\text{等})$	12.0	12.3	12.2	12.4	12.5	12.6

5-4 星間吸収

検出された晩期M型巨星の空間分布モデルを仮定すると、観測されたその表面密度から掃天の限界距離 r_{lim} を見積ることができる。さらにこの r_{lim} (単位 kpc) と今回のエピソードでのその絶対等級 M_E , 表5-2に示した限界等級 M_{lim} を用いて r_{lim} までの総星間吸収量を求めることができる。

晩期M型巨星の M_E は表2-3に要約されている。今回検出された晩期M型巨星の80%がM5-M6.5の星であり、それより晩期の星の M_E はまだ不確かであるので、全晩期M型巨星の M_E をM5-M6.5型巨星の平均の $M_E = -3.6$ 等で代表させた。

Mikami et al. (1981) は銀河系内で近赤外放射に寄与する星の空間分布を蝸座領域での星のカウントから求めた。そのモデルは赤色巨星が太陽近傍での $2.4 \mu\text{m}$ 放射の体積放射率へ主に寄与している天体であると同時に (Mikami and Ishida 1981), 表面輝度 (Maihara et al 1978) にも大きな寄与があることを示している。そのモデルによると 今回の観測領域での晩期M型巨星の空間密度 n は次式で表わされる。

$$n(R, z) = n_0 \exp\{-(R-R_0)/R_e\} \exp(-z^2/z_e^2)$$

ここで R と z はそれぞれ銀河系中心と銀河面からの距離, $R_0 = 10 \text{ kpc}$ は銀河系中心からの太陽の距離, n_0 は太陽近傍での空間密度, $R_e = 2.3 \text{ kpc}$ は円盤の有効半径, z_e は円盤の有効高である。Mikami and Ishida (1981) による I R C カタログの解析結果から晩期M型巨星の値 $n_0 = 1.5 \text{ 星}/10^6 \text{ pc}^3$, $z_e = 0.39 \text{ kpc}$ を採用した。

この空間分布モデルから見積られる 0.5×0.5 の領域での表面密度を代表的な2方向で太陽からの距離 r の関数として表5-3に示す。この値

表 5-3. 空間分布モデルから見積られる 0.5×0.5 の広さ内の表面数密度。太陽からの距離 r の関数で示す。

$(\ell, b) \backslash r$	1	2	3	4	5	6	7	kpc
$(0^\circ, 0^\circ)$	0	1	3	9	26	65	148	星数/ 0.25°
$(10^\circ, 2^\circ)$	0	1	3	9	23	55	117	星数/ 0.25°

を基にしてそれぞれの方角で r_{lim} を求め、図 5-2a にそれを示した。0.4 等の Malmquist 効果を補正し、 $A_v = 2A_\Sigma / r_{\text{lim}}$ の関係式を用い A_Σ と r_{lim} から 平均実視星間吸収量 A_v (等 kpc^{-1}) を求め図 5-2b に図示した。

観測された星の数の統計的誤差による r_{lim} の誤差は太陽より 3 kpc で約 15%, 5 kpc で約 3% である。 A_v の誤差は r_{lim} の誤差、限界等級見積りの誤差 (約 ± 0.2 等), 絶対等級の標準偏差 (約 ± 0.6 等) の蓄積で、3 kpc で ± 0.7 等 kpc^{-1} , 5 kpc で ± 0.3 等 kpc^{-1} となる。

5-5 議論

図 5-2b にいくつかの星間窓が見られる。例えば $(\ell, b) \sim (355^\circ, -1.5^\circ)$, $(2^\circ, -1^\circ)$, あるいは $(9^\circ, -1^\circ)$ 等の方角である。著者は $\ell = 355^\circ$, $b = -1^\circ$ 付近にある窓について詳しく調べた (Hamajima et al. 1981a, b; 参考論文として別添。著者はこの研究において観測計画, M 型星の検出, 分類の一部を担当した)。そしてその研究で Oda et al. (1979) によって観測された同方向での $2.4 \mu\text{m}$ 異常放射の原因が、少ない星間吸収量にある可能性を結論した。今回の研究からその領域が $\ell \simeq$

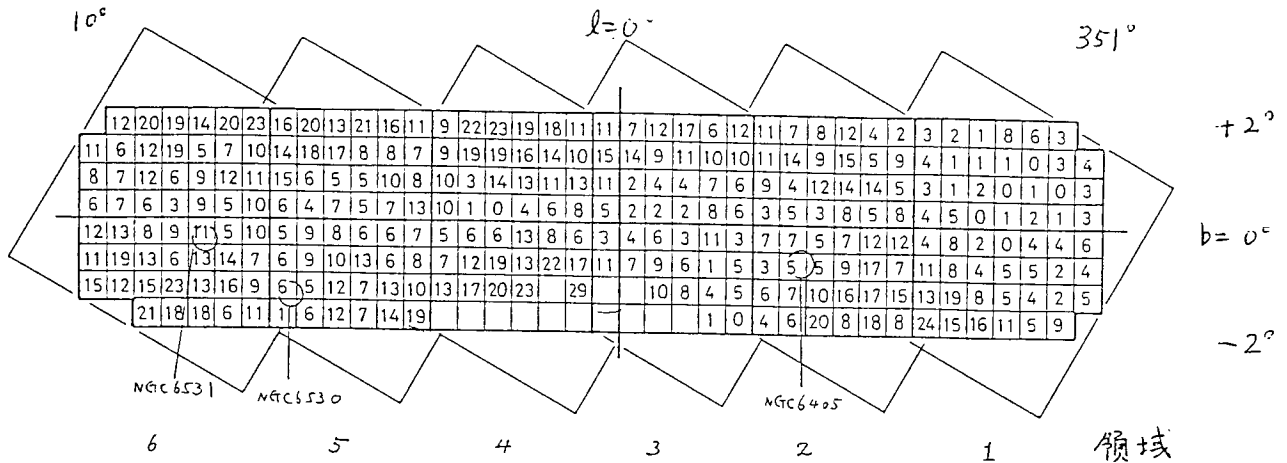


図5-1。 0.5×0.5 のそれぞれの視野内に検出された晩期M型巨星の数。
数字の書かれてない領域はスペクトル写真上で星が混み入りすぎて検
出が困難であった場所である。6領域の天球上での位置も示した。
3つの円は測光比較星として用いた散開星団の位置を示す。

352.5 , $b \approx -2^\circ$ まで広がる 3.5 平方度の大きさを持つ窓であることがわか
る。 $l \sim 358.5$ から $3^\circ 5$, $b \sim -2^\circ$ から -1° の領域は今回の観測領域の
内で最も透明であろう。 すなわち、スペクトル写真上で星の背景密度が
大きすぎ、星の重複のためにM型星を検出するのが困難な領域である。こ
の領域はよく知られた3つの銀河系の窓 (Vanden Bergh 1968) を含む
射手座星雲Aの一部を占めているものと思われる。

図5-3aは今回の観測領域内で Khavtas₁ (1960) によって描かれた暗黒
星雲の図である。 Neckel and Klare (1980) は早期型星の色超過を用い
て $|b| \leq 7.6$ の全銀河面における星間吸収の空間分布の詳しい図を得た。
図5-3bは太陽1 kpc以内での彼らの結果である。この図と比較すると
今回の結果である図5-2bは星間吸収分布のもっと詳しい様子を表わしてい
ることになる。そして我々の結果は小さな窓を探すのに適している。
図5-3aと3bに見られる $l \approx 352.5$, $b \approx +1^\circ$ 付近の最も不透明な領域は

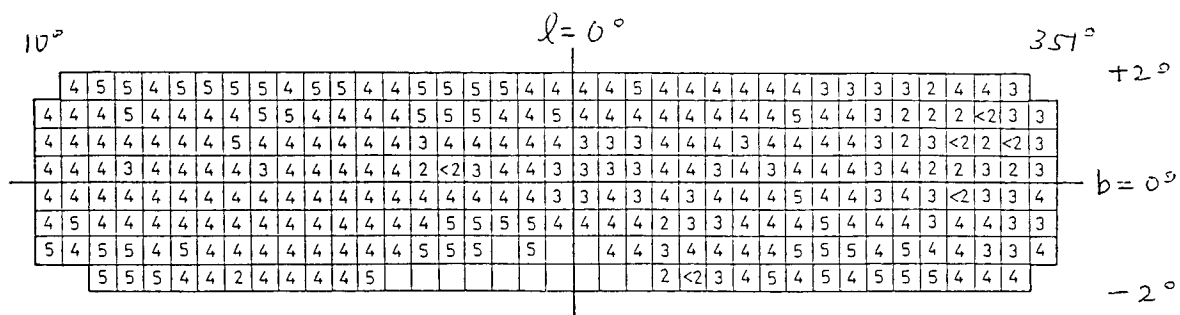
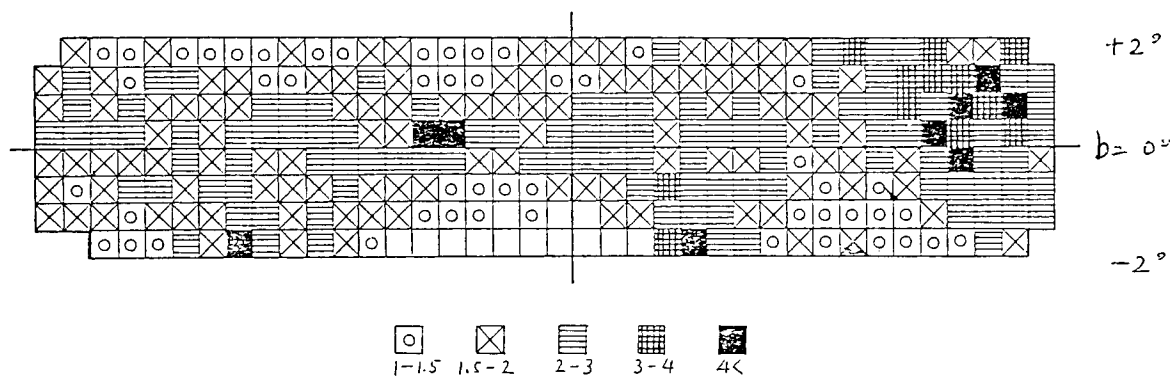
(a) r_{im} (kpc)(b) a_v (mag kpc⁻¹)

图 5-2

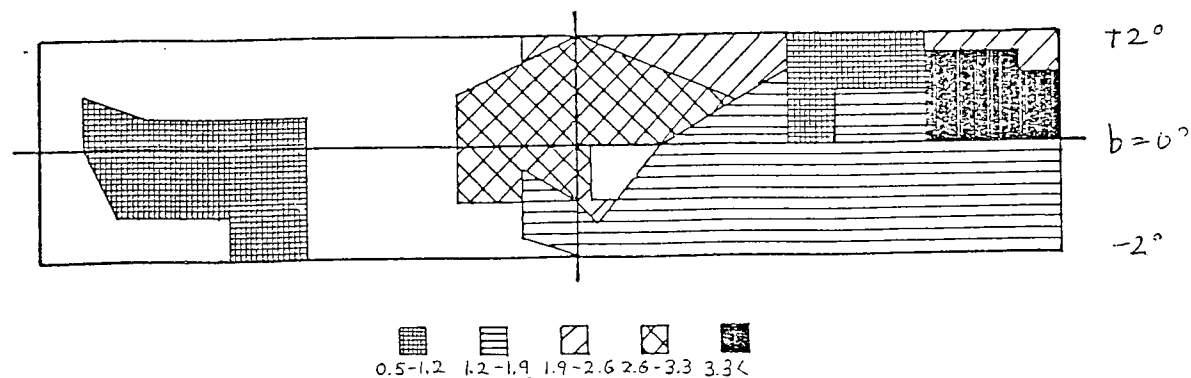
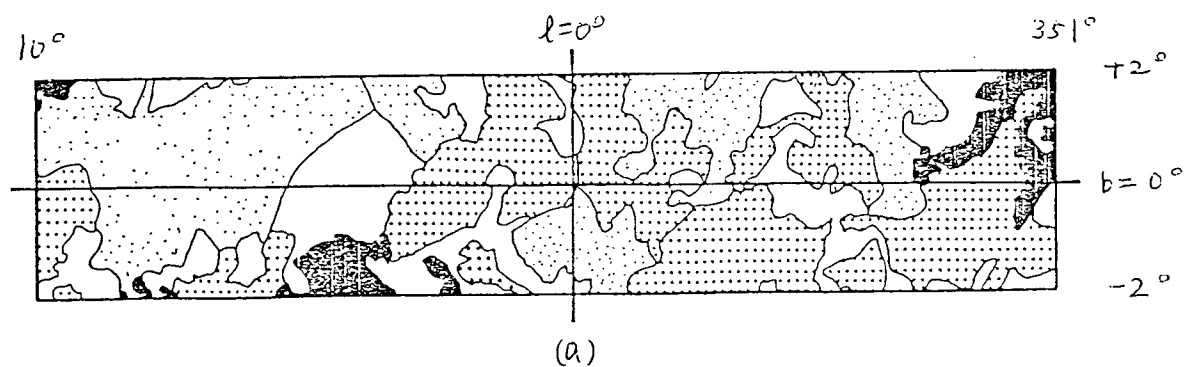
(b) A_v

图 5-3

図5-2. (a) それぞれの視野内での今回の限界距離 r_{lim} . (b) (a)に示された距離までの平均実視星間吸収量。

図5-3 (a) Kharvazi (1960)による暗黒星雲図。 (b) Neckel and Klare (1980)による太陽より1 kpc以内の総星間吸収量 A_V の表面分布。

図5-2bにも見られる。図5-2bの不透明な領域は図5-3aに見られるものよりも一般的にもっと銀河面集中している。これは今回の結果がより遠くの星間吸収物質の分布を反映しているということから期待されることである。 $351^\circ \leq l \leq 10^\circ$ の全領域における平均の \bar{A}_V と \bar{r}_{lim} は $1^\circ \leq |b| \leq 2^\circ$ の領域で $(\bar{A}_V, \bar{r}_{\text{lim}}) = (1.8 \text{ 等 kpc}^{-1}, 4.0 \text{ kpc})$, $|b| \leq 1^\circ$ の領域で $(2.1 \text{ 等 kpc}^{-1}, 3.6 \text{ kpc})$ である。一方 Sharov (1964) は太陽近傍 $b = 0^\circ$ で $A_V = 1.6 \text{ 等 kpc}^{-1}$ を与えている。

今回の研究は蝸座領域のみの観測結果で求められた Mikami et al. (1971) による晩期M型星の空間分布モデルに依存している。今回報告した銀河の窓での晩期M型星の空間分布の考察はそのモデルを改良するであろう。その空間分布の非均質性は今回の結果に影響を与えるかもしれないが、その影響は大きな限界距離を持つ窓においては小さいと思われる。

この論文では便宜上「銀河の窓」という言葉を用いたが、この論文で報告された窓はバーデの窓のように良く知られた窓程透明ではないのでこの言葉は適切でないかもしれない。実際今回の研究は太陽より5 kpc以内に限られている。これは主に我々のスペクトル写真のスケール(170角秒mm)が小さいために星が重なってしまうことに困っている。従って大きな焦点面スケールを持つ望遠鏡は限界距離を大きくし、ここで示されたのと全く同じ方法で小さなサイズを持つもっと透明な領域を明らかにするであろう。

謝辞

著者は 小暮教授を始めとする京都大学宇宙物理学教室大早広観測所のメンバーの絶え間ない援助に対して謝意を表したい。特に辻村民之氏には観測時に大いに御世話になった。原論文の共同執筆者である、佐々木敏由紀氏、浜島清利博士、石田 恵一博士、Prof. Dr. Bambang Hidayat, Moedji Raharto氏には、本研究を著者の学位論文に引用することに快諾して載^載いた。

Bosscha天文台での観測に際し Hidayat 教授を始めとする職員の方々の御世話になった。また天文台での滞在費は、インドネシアの Directorate General, Ministry of Education and Culture から Bosscha 天文台への給費による。日本、インドネシア間の往復航空運賃は IAU の Exchange of Astronomers Program からの援助で得られた。

参考文献

- Abramenko, B. 1978, *Astrophys. Space Sci.*, 54, 323.
- Adams, W. S., Joy, A. H., and Humason, M. L. 1926, *Astrophys. J.*, 64, 225.
- Akaike, H. 1973, in *Second International Symposium on Information Theory*, ed. B. N. Petrov and F. Csaki (Akadémiai Kiadó, Budapest), p. 267
- Akaike, H. 1974, *IEEE Trans. Automat. Control*, AC-19, 716.
- Albers, H. 1962, *Astron. J.*, 67, 24.
- Allen, C. W. 1973, *Astrophysical Quantities*, 3rd ed. (Athlone Press, London), pp. 206, 242, and 247.
- Antalová, A. 1972, *Bull. Astron. Inst. Czech.*, 23, 126.
- Arp, H., Sandage, A., and Stephens, C. 1959, *Astrophys. J.*, 130, 80.
- Baker, P. L., and Burton, W. B. 1975, *Astrophys. J.*, 198, 281
- Becker, W., and Fenkart, R. 1971, *Astron. Astrophys. Suppl.*, 4, 241.
- Bertin, G., and Mark, J. W. -K. 1980, *Astron. Astrophys.*, 88, 289.
- Binney, J. 1978, *Monthly Notice Roy. Astron. Soc.*, 183, 779.
- Blanco, V. M. 1963, *Astrophys. J.*, 137, 513.
- Blanco, V. M. 1964, *Astron. J.*, 69, 730.
- Blanco, V. M. 1965, in *Galactic Structure*, ed. A. Blaauw and M. Schmidt (University of Chicago Press, Chicago), p. 241.
- Blitz, L. 1979, *Astrophys. J. Letters*, 231, L115.
- Blitz, L., Fich, M., and Stark, A. 1980, in *IAU Symp. 87, Interstellar Molecules*, ed. B. H. Andrew (D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland), p. 213.
- Burbidge, E. M., and Sandage, A. 1958, *Astrophys. J.*, 128, 174.
- Burton, W. B. 1976, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 14, 275.
- Cameron, D. M., and Nassau, J. J. 1955, *Astrophys. J.*, 122, 177
- Deutschman, W. A., Davis, R. J., and Schild, R. E. 1976, *Astrophys. J. Suppl.*, 30, 97
- Dodd, R. J. 1974, *Astrophys. Space Sci.*, 26, 513.

- Eddington, A. S. 1913, Monthly Notices Roy. Astron. Soc., 73, 359.
- Eggen, O. J. 1969, Astrophys. J., 158, 1109
- Eggen, O. J. 1977, Astrophys. J., 215, 812.
- Farnsworth, A. H., and McCuskey, S. W. 1955, Astrophys. J., 121, 643.
- FitzGerald, M. Pim. 1968, Astrón. J., 73, 983.
- Graham, J. A. 1970a, in IAU Symp. 38, The Spiral Structure of Our Galaxy. ed. W. Becker and G. Contopoulos (D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland), p. 262.
- Graham, J. A. 1970b, Astron. J , 75, 703.
- Hamajima, K., Ichikawa, T., Ishida, K., Hidayat, B., and Raharto, M. 1981a, Publ. Astron. Soc. Japan, に掲載予定
- Hamajima, K., Ishida, K., Ichikawa, T , Hidayat, B., and Raharto, M. 1981b, IAU Second Asian-Pacific Meeting in Astronomy, に掲載予定
- Hardorp, J. 1960, Astron. Abh. Sternw. Hamburg-Bergedorf, 5, 215.
- Harris, G. L. H. 1976, Astrophys. J. Suppl., 30, 451.
- Hoag, A. A., Johnson, H. L., Iriarte, B., Mitchell, R. I., Hallam, K. L., and Sharpless, S. 1961, Publ. U.S. Naval Obs., 2nd Ser., 17, 349.
- Hunter, C., and Toomre, A. 1969, Astrophys. J., 155, 747
- Ichikawa, T 1981, Publ. Astron. Soc. Japan, 33, 107
- Ichikawa, T , Hamajima, K., Ishida, K., Hidayat, B., and Raharto, M. 1981, IAU Second Asian-Pacific Meeting in Astronomy, に掲載予定
- Ishida, K., and Mikami, T 1981, Publ. Astron. Soc. Japan, に掲載予定
- Johnson, H. L. 1955, Ann. Astrophys., 18, 292.
- Johnson, H. L. 1966, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 4, 193.
- Johnson, H. L. 1968, in Nebulae and Interstellar Matter, ed. B. M. Middlehurst and L. H. Aller (University of Chicago Press, Chicago), p. 167
- Johnson, H. L., and Harris, D. L., III. 1954, Astrophys. J , 120, 196.
- Kahn, F D., and Woltjer, L. 1959, Astrophys. J , 130, 705.
- Kerr, F J. 1969, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 7, 39.

- Khavtasi, Dzh. Sh. 1960, Atlas Galakticheskikh Temnykh Tumannostej (Abastumanskaya Astrofizicheskaya Observato^r_{ri}ya, Akademiya Nauk Gruzinskoj SSR)
- Kirton, K. A., and FitzGerald, M. P. 1974, J. Roy. Astron. Soc. Can., 68, 154
- Kodaira, K., Tanaka, W., Onaka, T., and Watanabe, T. 1979, Publ. Astron. Soc. Japan, 31, 667
- Kolesnik, L. N., and Vedenicheva, I. P. 1979, Astron. Astrophys., 76, 124.
- Kron, G. E., and Smith, J. L. 1951, Astrophys. J., 113, 324.
- Kron, G. E., White, H. S., and Gascoigne, S. C. B. 1953, Astrophys. J., 118, 502.
- Kukarkin, B. V., Kholopov, P. N., Efremov, Yu. N., Kukarkina, N. P., Kurochkin, N. E., Medvedeva, G. I., Perova, N. B., Fedorovich, V. P., and Frolov, M. S. 1969, General Catalogue of Variable Stars, Vol. 1, 3rd ed. (Akademii Nauk, Moskva)
- Kukarkin, B. V., Kholopov, P. N., Efremov, Yu. N., Kukarkina, N. P., Kurochkin, N. E., Medvedeva, G. I., Perova, N. B., Fedorovich, V. P., and Frolov, M. S. 1970, General Catalogue of Variable Stars, Vol. 2, 3rd ed. (Akademii Nauk, Moskva)
- Lynden-Bell, D. 1965, Monthly Motice Roy. Astron. Soc., 129, 299.
- Lynds, B. T. 1968, in Nebulae and Interstellar Matter, ed. B. M. Middlehurst and L. H. Aller (University of Chicago Press, Chicago), p. 119.
- Maihara, T., Oda, N., Sugiyama, T., and Okuda, H. 1978, Publ. Astron. Soc. Japan, 30, 1.
- Martin, N. 1972, Astron. Astrophys., 17, 253.
- Mavridis, L. N. 1967. in Colloquium on Late-Type Stars, ed. M. Hack (Osservato^r_{io} Astronomico Trieste), p. 420.
- Mavridis, L. N. 1971, in Structure and Evolution of the Galaxy. ed. L. N. Mavridis (D. Reidel Publishing Company. Dordrecht, Holland), p. 110.
- McCuskey, S. W. 1969, Astron. J., 74, 807
- McCuskey, S. W., and Houk, N. 1964, Astron. J., 69, 412.
- Mikami, T. 1978, Publ. Astron. Soc. Japan, 30, 191.

- Mikami, T., and Ishida, K. 1981, Publ. Astron. Soc. Japan, 33³, 145.
- Mikami, T., Ishida, K., Hamajima, K., and Kawara, K. 1981, Publ. Astron. Soc. Japan, に掲載予定
- Miyamoto, M., and Nagai, R. 1975, Publ. Astron. Soc. Japan, 27, 533.
- Nakano, M., Kogure, T., and Wiramihardja, S. D. 1981, IAU Second Asian-Pacific Meeting in Astronomy, に掲載予定
- Nandy, K., and Smriglio, F. 1976, Publ. Roy. Obs. Edinburgh, 9, 117
- Nandy, K., Smriglio, F., and Buonanno, R. 1978, Publ. Roy. Obs. Edinburgh, 9, 125.
- Nassau, J. J., and Velghe, A. G. 1964, Astrophys. J., 139, 190.
- Neckel, H. 1958, Astrophys. J., 128, 510.
- Neckel, H. 1975, Astron. Astrophys., 42, 379.
- Neckel, Th. 1967, Veröff. Landessternw. Heidelberg-Königstuhl, 19, 1.
- Neckel, Th., and Klare, G. 1980, Astron. Astrophys. Suppl., 42, 251.
- Oda, N., Maihara, T., Sugiyama, T., and Okuda, H. 1979, Astron. Astrophys., 72, 309.
- Sancisi, R. 1976, Astron. Astrophys., 53, 159.
- Sandage, A. 1958, Astrophys. J., 128, 150.
- Scalo, J. M., Dominy, J. F., and Pumphrey, W. A. 1978, Astrophys. J., 221, 616.
- Schmidt, M. 1965, in Galactic Structure, ed. A. Blaauw and M. Schmidt (University of Chicago Press, Chicago), p. 513.
- Schweizer, F. 1976, Astrophys. J. Suppl., 31, 313.
- Sharov, A. S. 1964, Soviet Astron., 7, 689.
- Stothers, R., and Chin, C.-w. 1977, Astrophys. J., 211, 189.
- Strom, S. E., Jensen, E. B., and Strom, K. M. 1976, Astrophys. J., 206, L11.
- Terrill, C. L. 1969, Astron. J., 74, 413.
- Thé, P. S., Staller, R. F. A., and Meurs, E. J. A. 1974, Astron. Astrophys. Suppl., 15, 141.
- Trumpler, R. J., and Weaver, H. F. 1953, Statistical Astronomy (University of California Press, Berkeley), p. 103.

- Tsuji, T. 1978, *Astron. Astrophys.*, 62, 29.
- Tubbs, A. D., and Sanders, R. H. 1979, *Astrophys. J.*, 230, 736.
- van de Hulst, H. C. 1949, *Rech. Astron. Obs. Utrecht*, 11, part 2.
- van den Bergh, S. 1968, *J. Roy. Astron. Soc. Can.*, 62, 145.
- Verschuur, G. L. 1973, *Astron. Astrophys.*, 24, 193.
- Verschuur, G. L. 1975, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 13, 257.
- Vleeming, G., and Thé, P. S. 1975, *Astron. Astrophys. Suppl.*, 21, 33.
- Walker, M. F. 1957, *Astrophys. J.*, 125, 636.
- Weliachew, L., Sancisi, R., and Guélin, M. 1978, *Astron. Astrophys.*, 65, 37.
- Westerhout, G. 1957, *Bull. Astron. Inst. Neth.*, 13, 201.
- Wilson, O. C. 1959, *Astrophys. J.*, 130, 499.
- Wilson, O. C. 1976, *Astrophys. J.*, 205, 823.
- Wilson, O. C., and Bappu, M. K. V. 1957, *Astrophys. J.*, 125, 661.
- Wilson, R. E. 1953, *General Catalogue of Stellar Radial Velocities* (Carnegie Institution of Washington, Washington, D. C.)
- Yoshii, Y., and Fujimoto, M. 1981, *Astron. Astrophys.*, 104, 142.